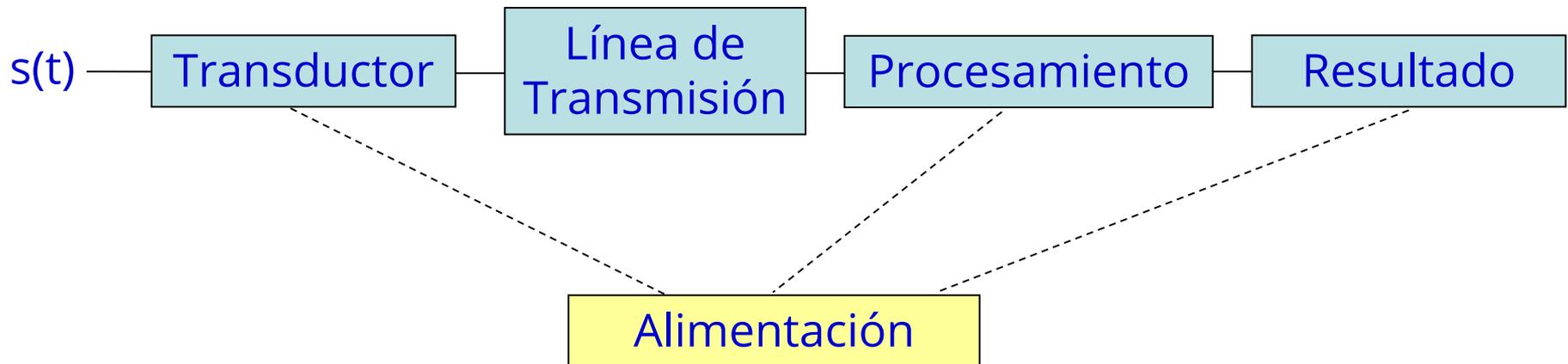
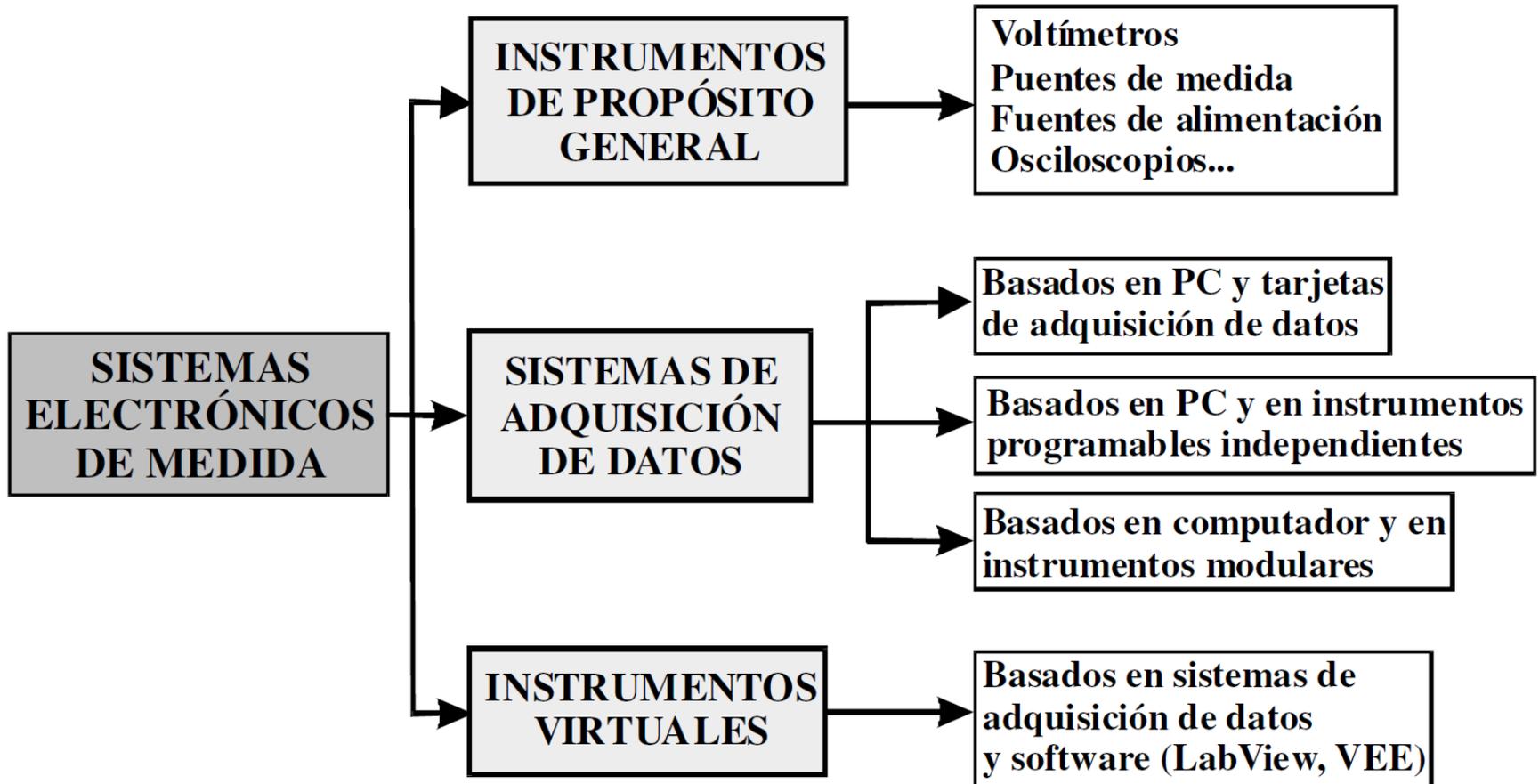


Sistemas de Medida

Usualmente se combinan varios aparatos y accesorios entre sí para formar lo que se llama un *Sistema de Medida*, que en forma muy general podemos representar así:

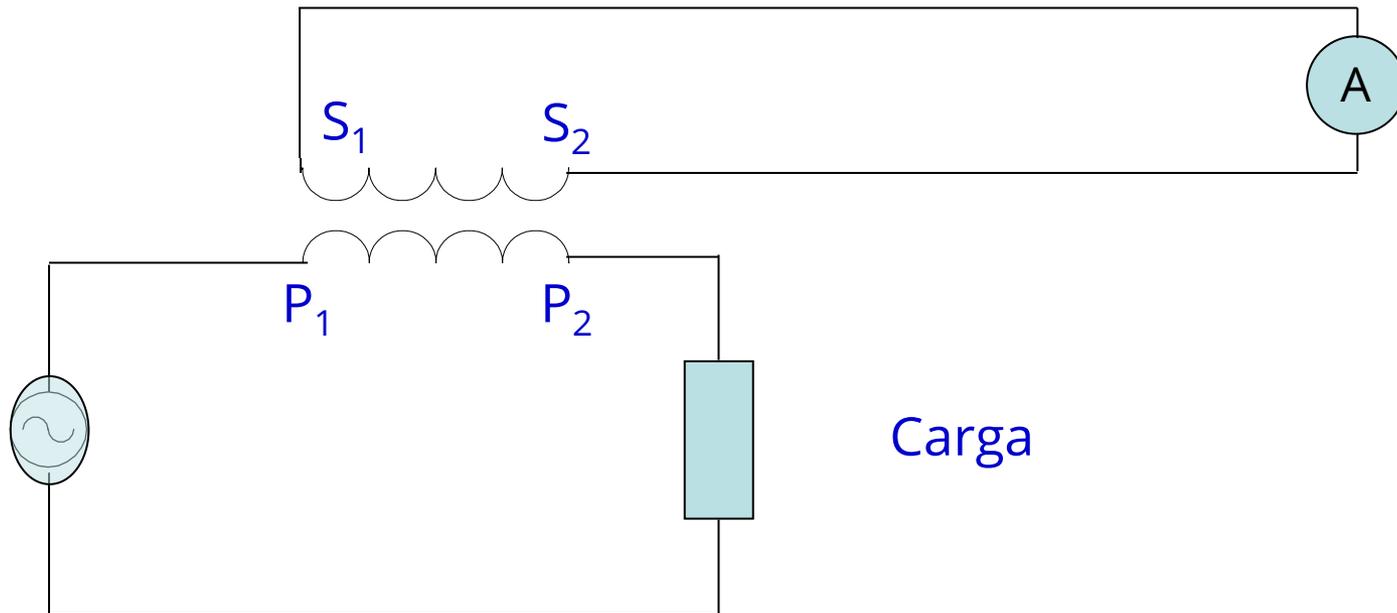


Sistemas de Medida



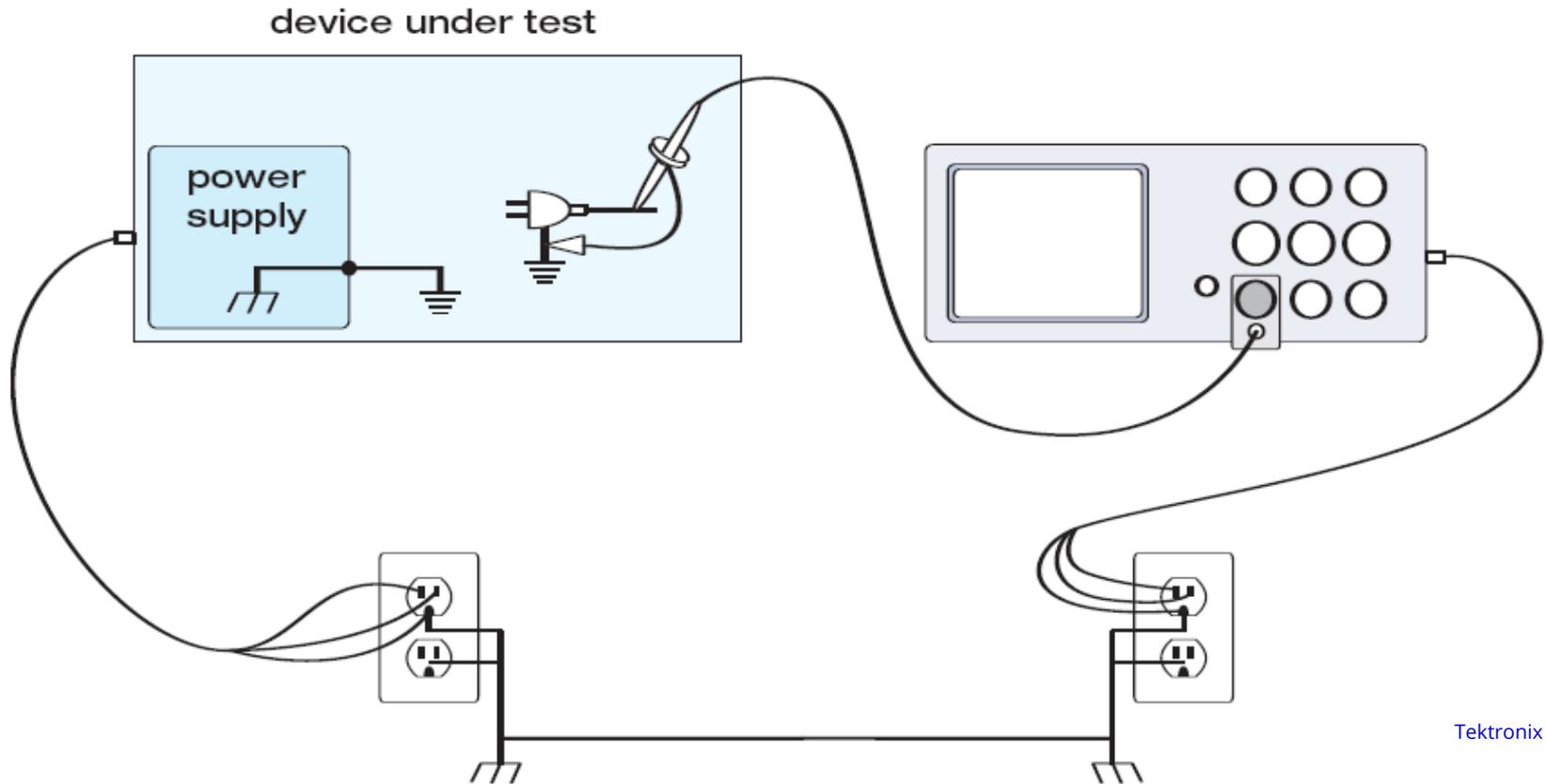
El esquema anterior es muy general, y debe adaptarse a cada caso particular, pudiendo agregarse o eliminarse bloques.

Un caso típico conocido podría ser el uso de un TA:



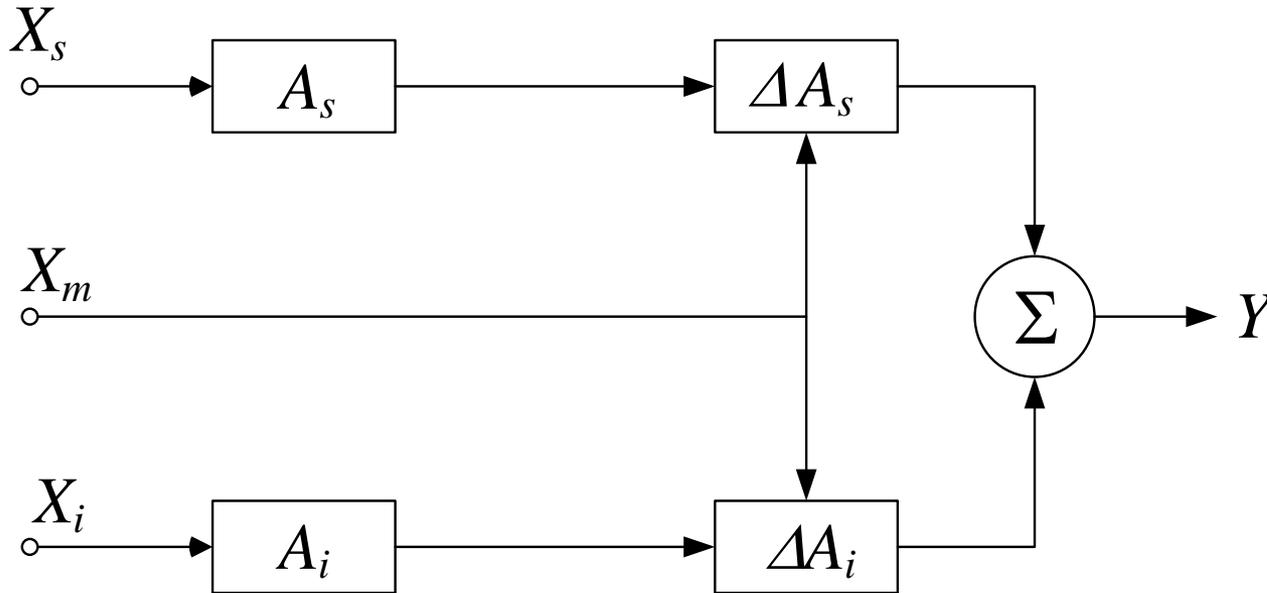
El propio transformador de intensidad es el transductor, el cableado constituye la línea de transmisión y el amperímetro se encarga del procesamiento (permite obtener el resultado).

Otro ejemplo lo constituye un osciloscopio dispuesto para medir la señal de un equipo que posee una fuente de alimentación conectada a tierra.



Tektronix

Representación esquemática de un Sistema de Medida



Señal de interés, X_s (señal útil).

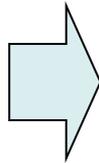
Señales modificantes o de influencia, X_m .

Señales de interferencia, X_i .

Hemos visto varias maneras de tratar las señales que nos interesan: técnicas de atenuación, adaptadores de impedancia, dispositivos integradores, rectificadores, etc. Nos ocuparemos ahora de mejorar la calidad de las señales a analizar, eliminando o mitigando en parte el efecto de las ***Señales Perturbadoras*** o ***de Interferencia***.

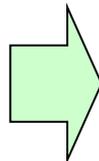
Clasificación:

Internas al Sistema



Se generan dentro del circuito de medida, y se agregan a las señales a medir: ruido, f.e.m. termoeléctricas, efectos electroquímicos, etc.

Externas al Sistema



Proviene de múltiples señales eléctricas presentes en el mundo real: corrientes en circuitos vecinos, señales de tierra, por acoplamiento capacitivo o inductivo, etc.

Señales Externas al Sistema de Medición

Pueden afectarlo, mediante distintos mecanismos:

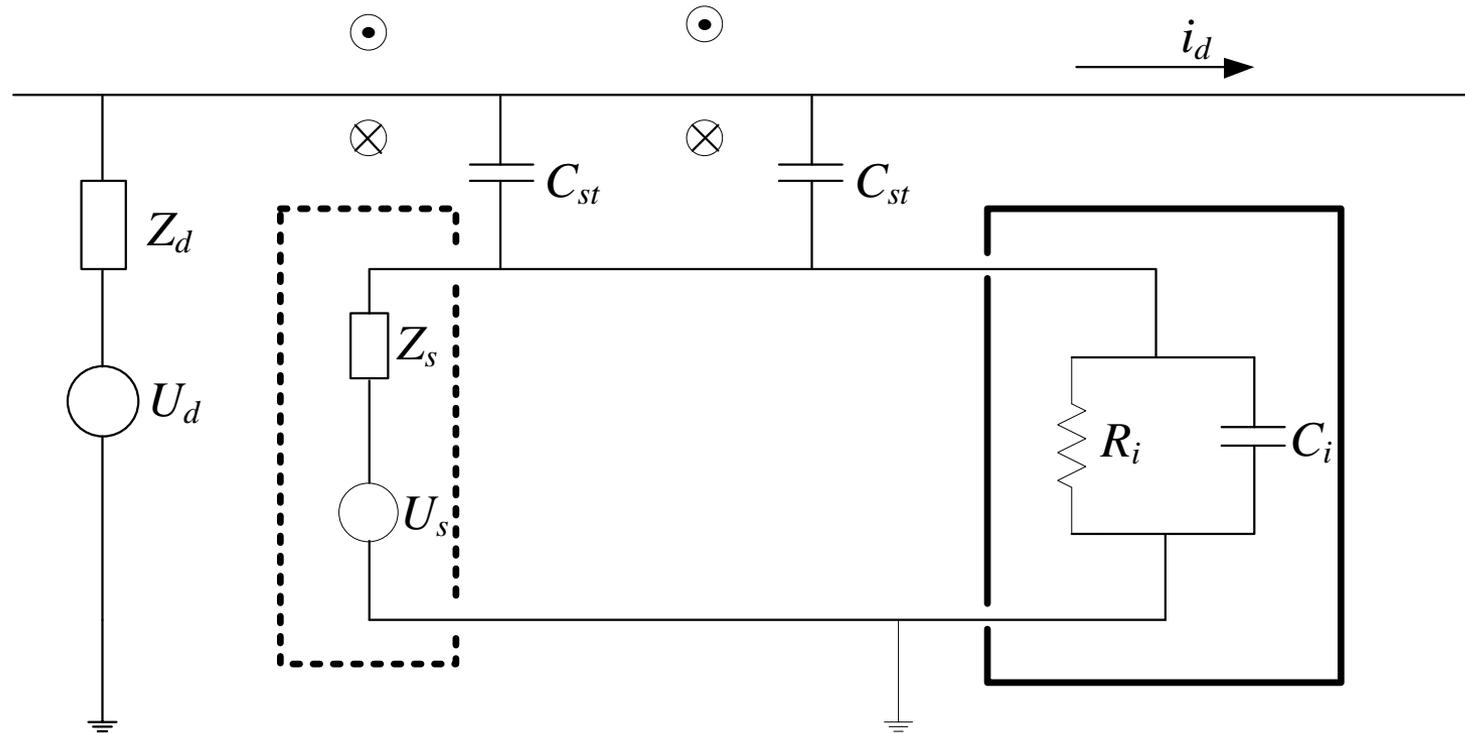
- Acoplamiento Resistivo (conductivamente)
- Acoplamiento Capacitivo (eléctricamente)
- Acoplamiento Inductivo (magnéticamente)
- Radiación Electromagnética

Es característica común de todas ellas, que una vez dentro del sistema **aparecen como señales de modo normal**, las que, dependiendo de qué es lo que se desea medir, pueden o no ser rechazadas con las técnicas que ya hemos visto.

Generalmente son de mayor importancia cuando se trata de medir señales pequeñas o de rápida variación, que obliga al uso de sistemas de gran ancho de banda.



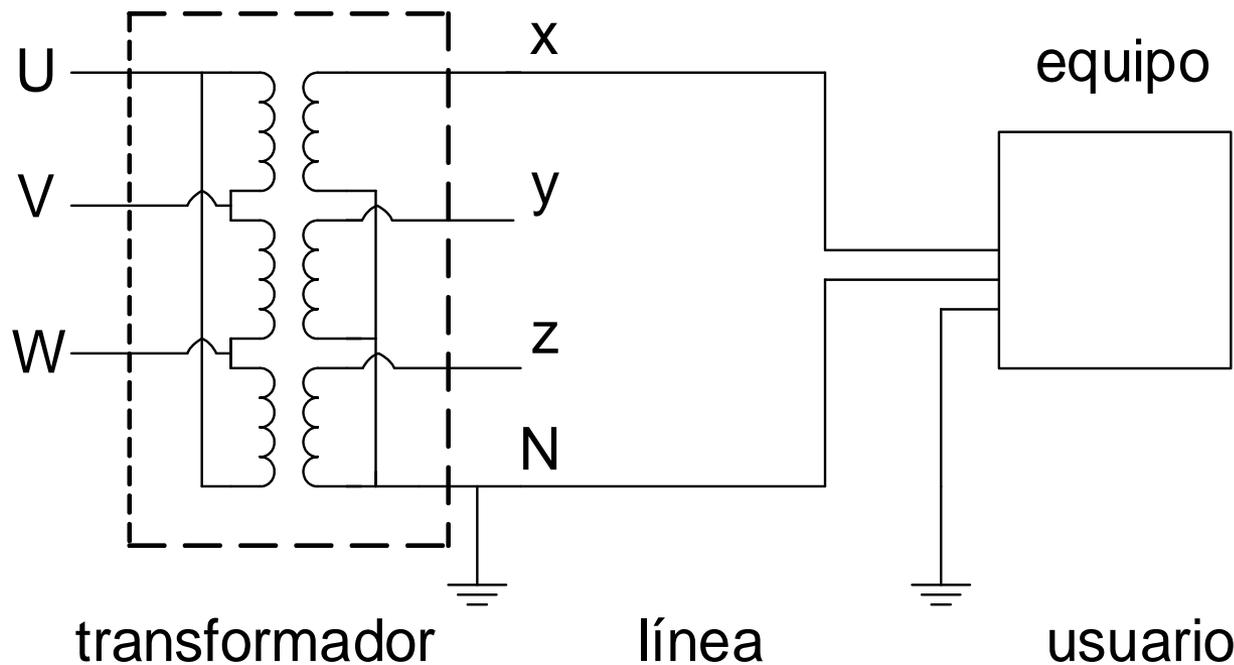
Esquema simplificado de un ejemplo de medición, con un instrumento (puede pensarse en un osciloscopio por ejemplo), en las vecindades de fuentes de perturbación comunes:



Se reconoce la incógnita, identificada con subíndices "s", el osciloscopio, con su R y C de entrada, y como magnitudes perturbadoras, la tensión del sistema de potencia que se identifica con subíndices "d" y la corriente del mismo que circula por el conductor superior.

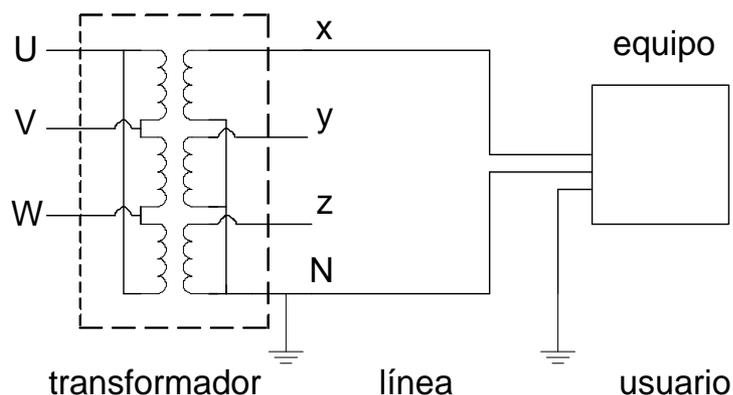
Acoplamiento resistivo (conductor): Influencia de una de las señales de interferencia más comunes en sistemas de medida, las señales de tierra.

Antes analizaremos brevemente la configuración de un sistema de potencia (el que nos provee la energía eléctrica para alimentar nuestros equipos). Los valores y esquemas que se usarán son los empleados en Argentina, y corresponden, con ligeros cambios, a los universalmente adoptados.

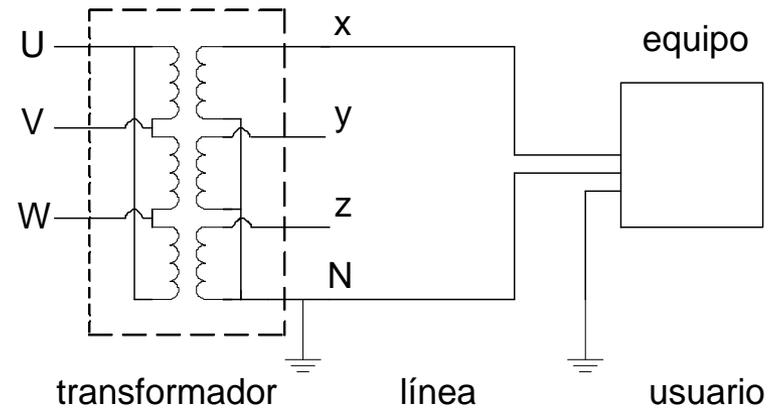


Se aprecian:

- **Transformador:** es el encargado de bajar el nivel de tensión de transmisión al requerido por el usuario. Generalmente la tensión primaria es de 13,2 o de 33 kV, mientras que la secundaria es la usual de 380/220 V. Se ve la conexión en estrella del secundario, con el neutro conectado rígidamente a tierra en el lugar de emplazamiento del transformador (subestación, que puede ser aérea, con el transformador sobre un poste en zonas rurales o suburbanas, subterránea, en zonas céntricas, a nivel, etc.).
- **Línea:** es la encargada de realizar la distribución en baja tensión desde la subestación al usuario.



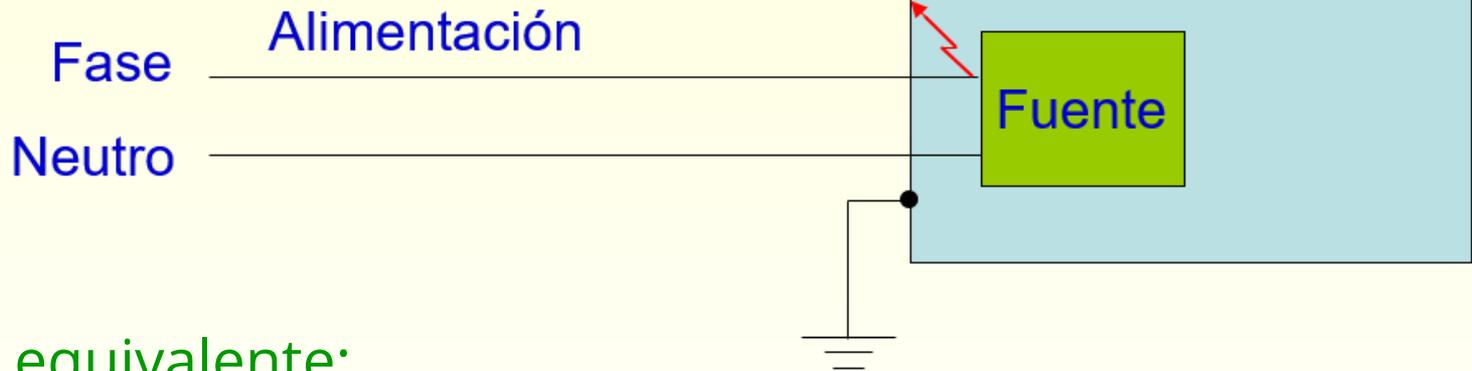
- **Usuario:** en el punto de consumo se encuentra el usuario, con su instalación eléctrica propia. En el esquema se ha simbolizado un usuario monofásico, lo que de ninguna manera puede quitar generalidad al análisis.



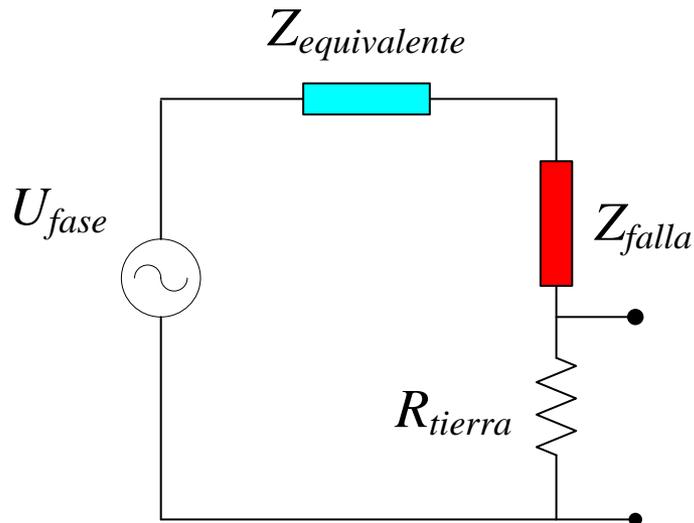
Se aprecia en él la presencia de la tierra de seguridad del mismo, *que no coincide con la de la subestación.*

La *tierra de seguridad* tiene por objeto prevenir las consecuencias que pueden derivarse de fallas en la aislación de los equipos usados, como se presenta en el siguiente esquema.

Falla de la aislación y Tierra de Seguridad:



Circuito equivalente:



Manteniendo R_{tierra} en valores bajos se logra evitar que la caída de tensión alcance niveles peligrosos.

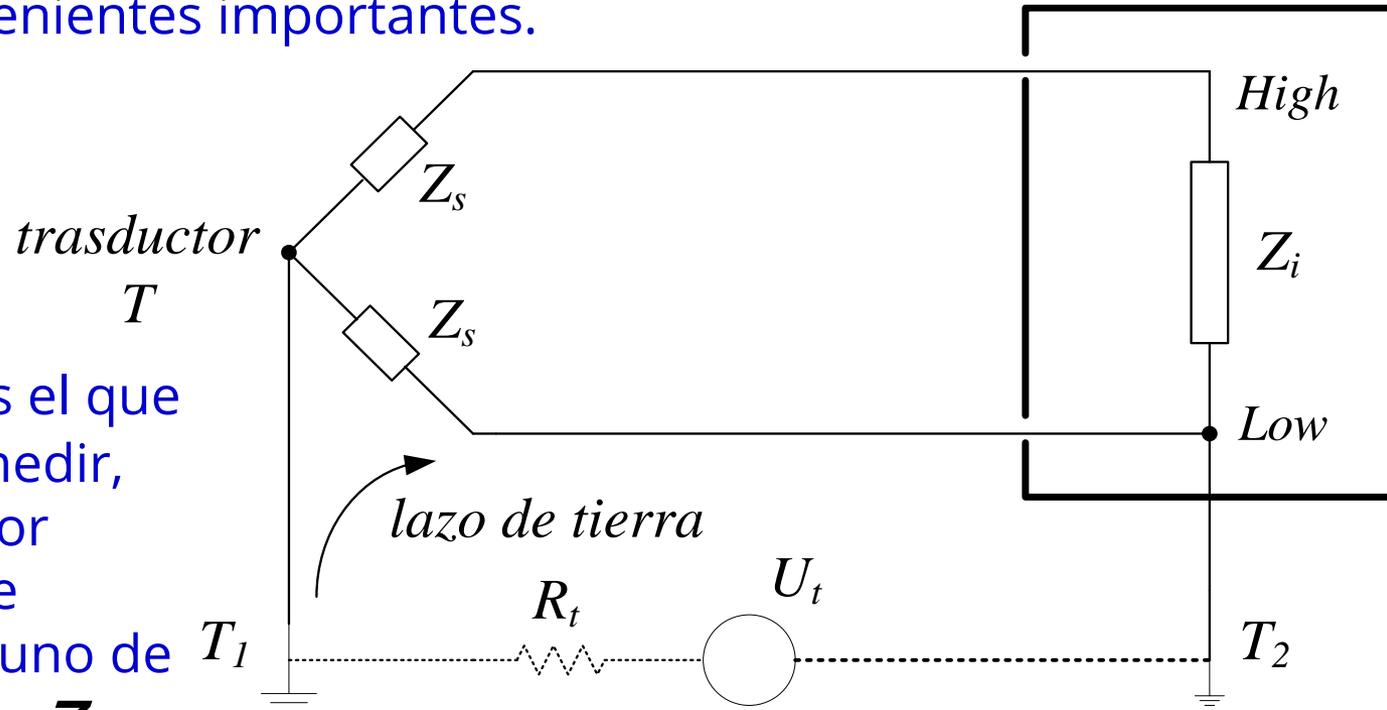
$$\Delta U_{equipo} = \frac{U_{fase} * R_{tierra}}{R_{tierra} + Z_{equivalente} + Z_{falla}}$$

Notar que es imprescindible, *por razones de seguridad*, conservar las conexiones a tierra. Esto que es particularmente cierto en el caso de los artefactos electrodomésticos, puede obviarse a veces, en casos de circuitos o equipos de medición en los que las señales de tierra ocasionen inconvenientes importantes.

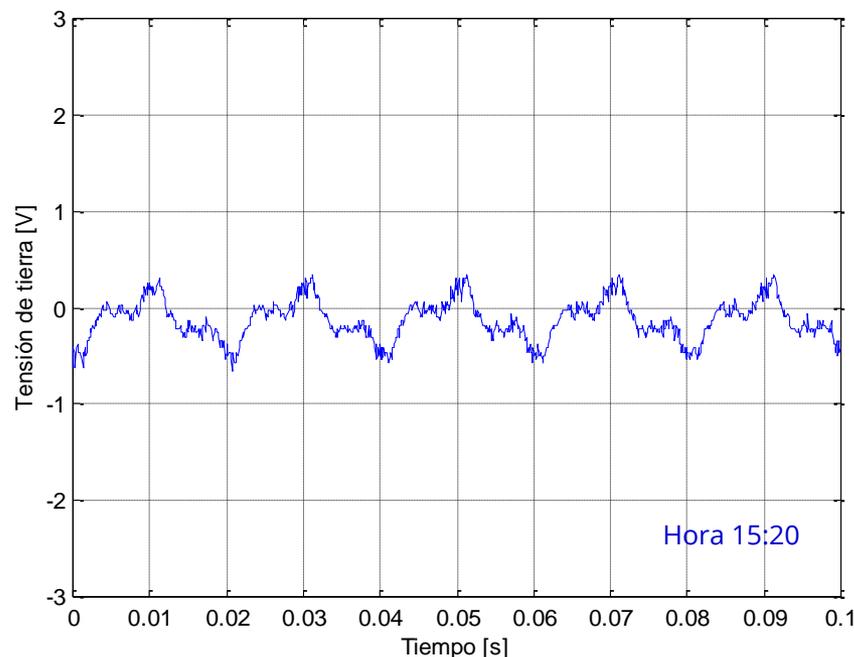
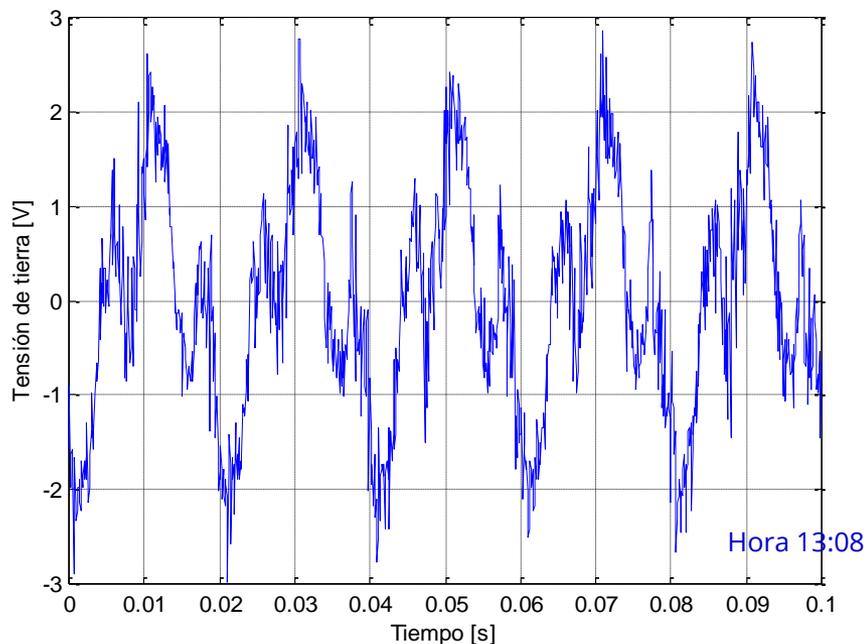
Ejemplo

El transductor T es el que provee la señal a medir, que se transmite por medio de un par de conductores, cada uno de ellos de impedancia Z_s ,

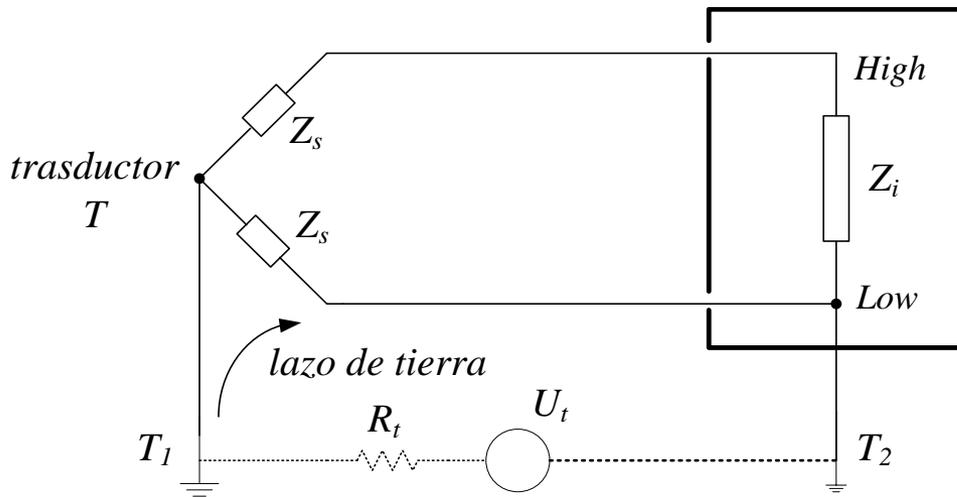
al instrumento de medición, caracterizado por Z_i su impedancia de entrada. T_1 y T_2 son dos tierras distintas.



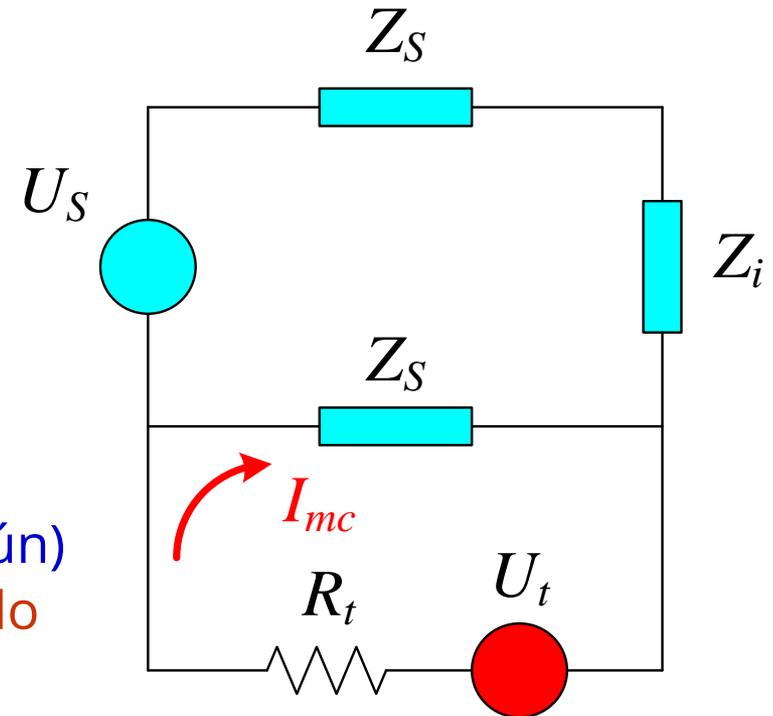
Al ser distintas T_1 y T_2 , aparece entre ellas una diferencia de potencial, debida a la contribución de las diferentes puestas a tierra de equipos existentes en la realidad, que se caracteriza por ser una onda deformada, con fundamental igual a la frecuencia de red, y que es continuamente variable en el tiempo. A esta tensión se asocia una resistencia que en el dibujo se llamó R_t .



Dos registros de la tensión U_t que aparece entre la tierra de seguridad del Laboratorio de Medidas Eléctricas y la tierra de la subestación de alimentación al mismo, tomados el mismo día en diferentes horarios.



Podemos armar un circuito equivalente de lo anterior:

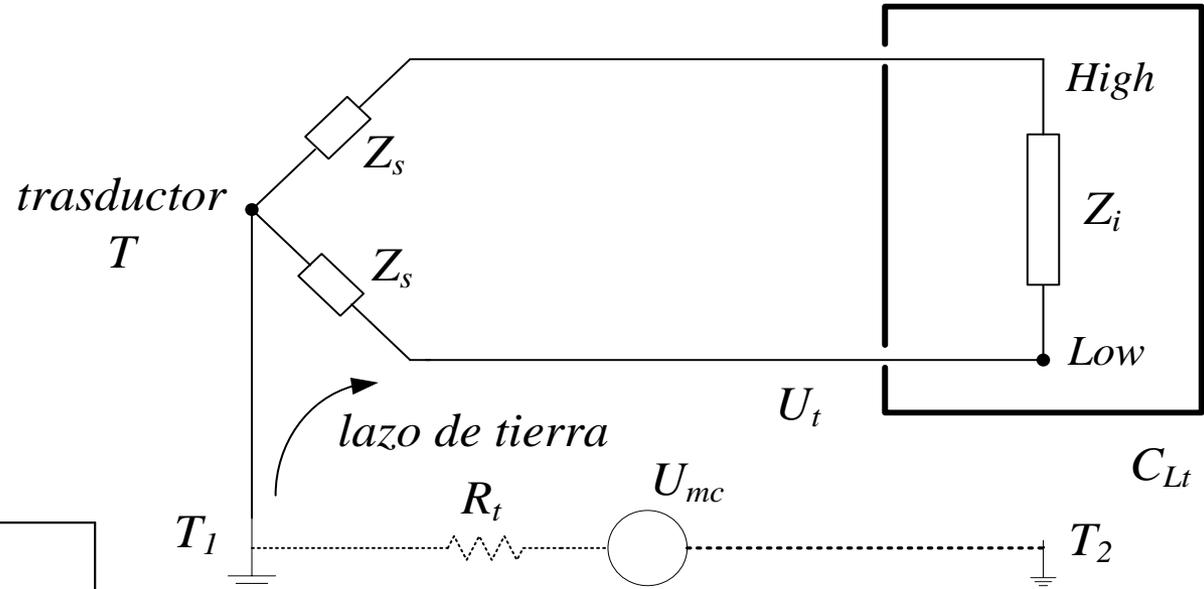
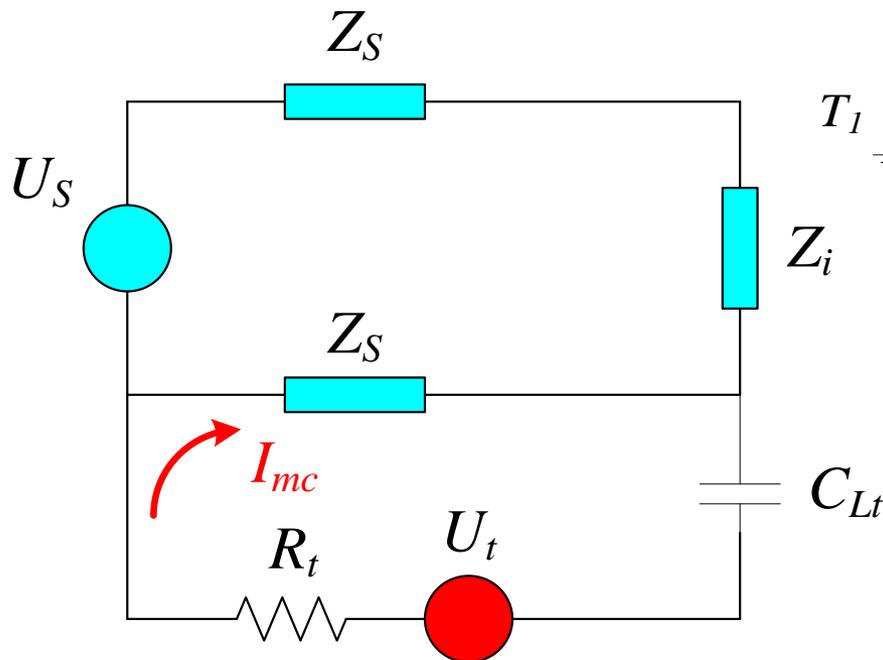


En la mayoría de los casos, Z_i es de algunos $M\Omega$, por lo que el camino para circulación de corriente de tierra es el marcado en rojo. El problema aparece porque la corriente I_{mc} (de modo común) da lugar a una caída de tensión de modo normal en la impedancia Z_s por la que circula, que vale:

$$U_{mn} = U_t * \dot{Z}_s / \left(\dot{Z}_s + R_t \right)$$

La manera de evitar el problema es reducir la corriente que circula por el conductor vinculado con el borne "low" del instrumento. Ello se logra:

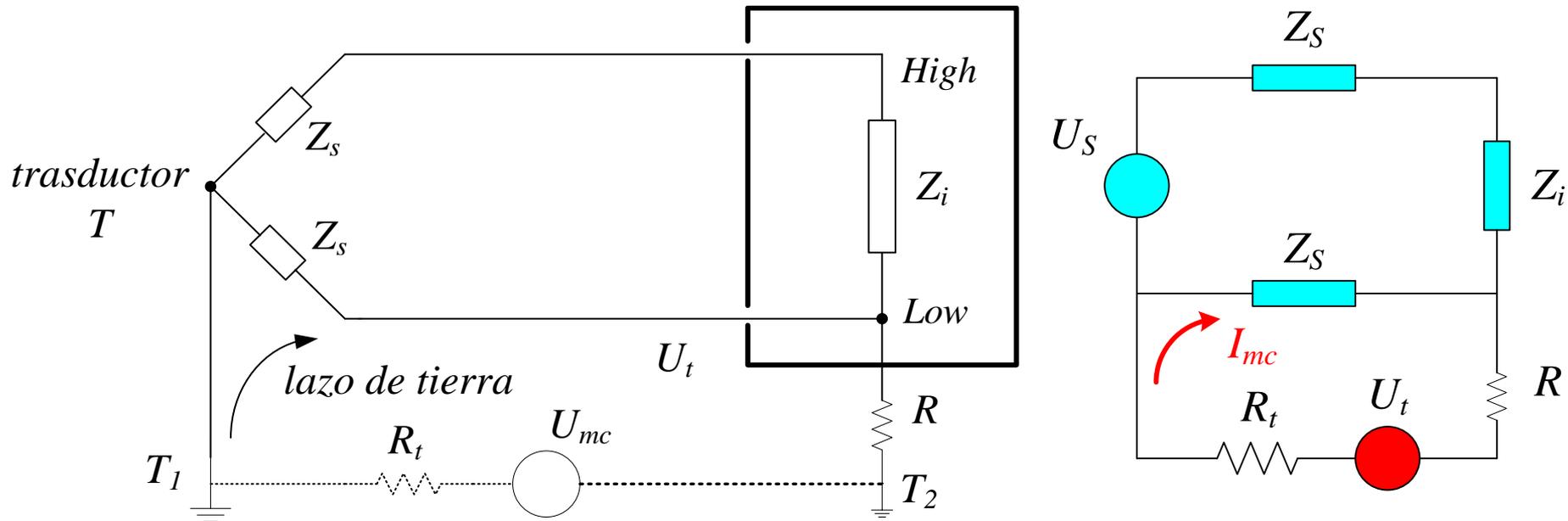
a) Eliminando la doble conexión a tierra (lado señal y lado instrumento):



Mientras la impedancia de C_{Lt} sea grande frente a R_t y Z_S a la frecuencia de trabajo, se reducirá el efecto de la tensión de tierra.

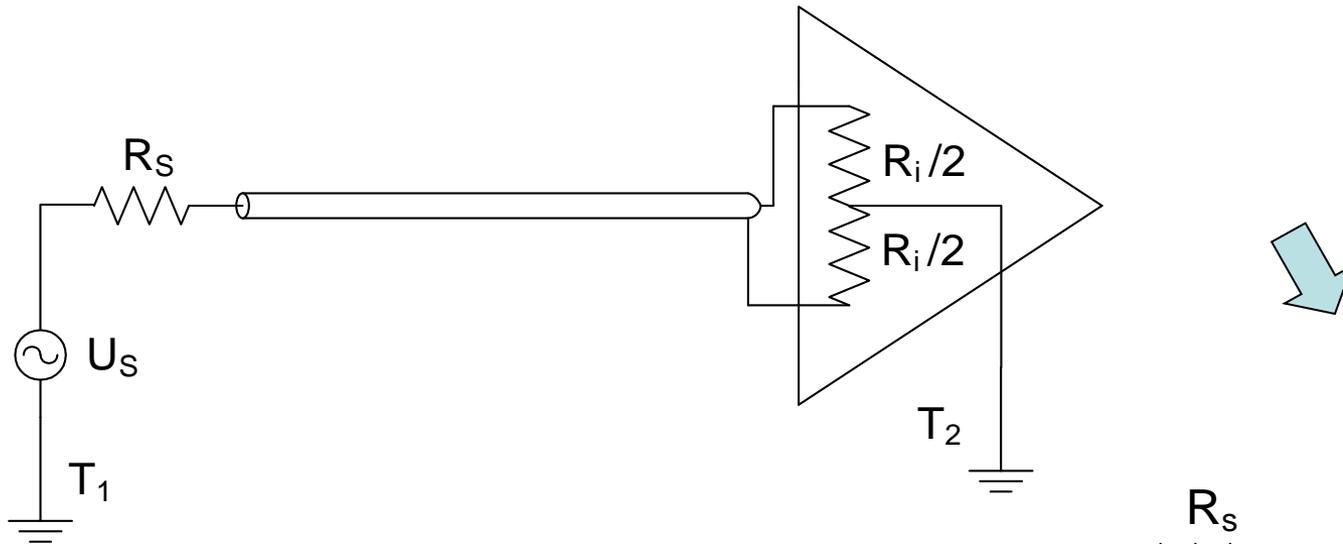
Debemos tener en cuenta que no siempre es posible desconectar alguna de ambas tierras. En el caso del dibujo anterior se supuso que la tierra del instrumento podía ser removida. Efecto similar hubiera provocado la remoción de la tierra del lado del transductor.

b) Aumentando la impedancia del lazo de tierra (R);



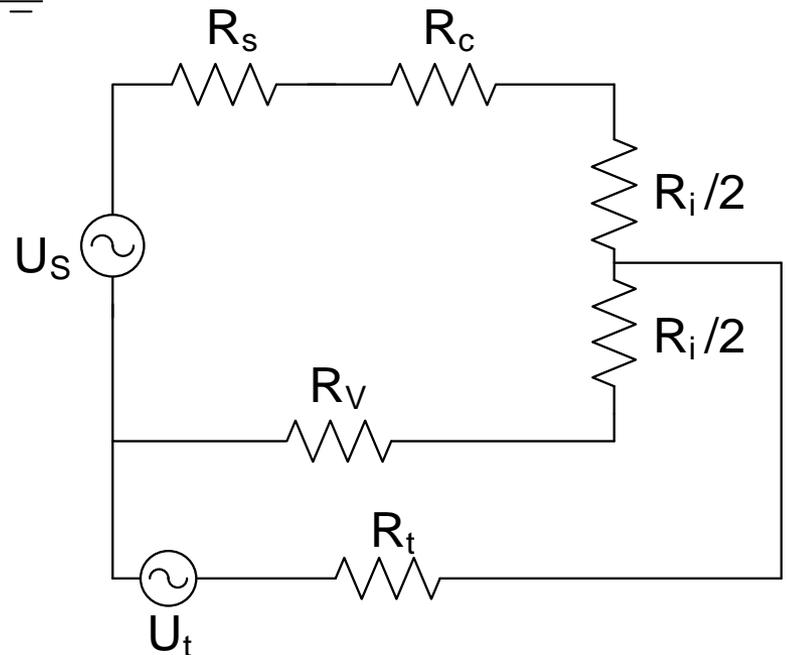
Disminuye la corriente de modo común, y con ella la señal perturbadora, pero a costa de un aumento de la diferencia de potencial entre el borne "low" y la tierra.

c) Utilizando, si fuera posible, una entrada diferencial:

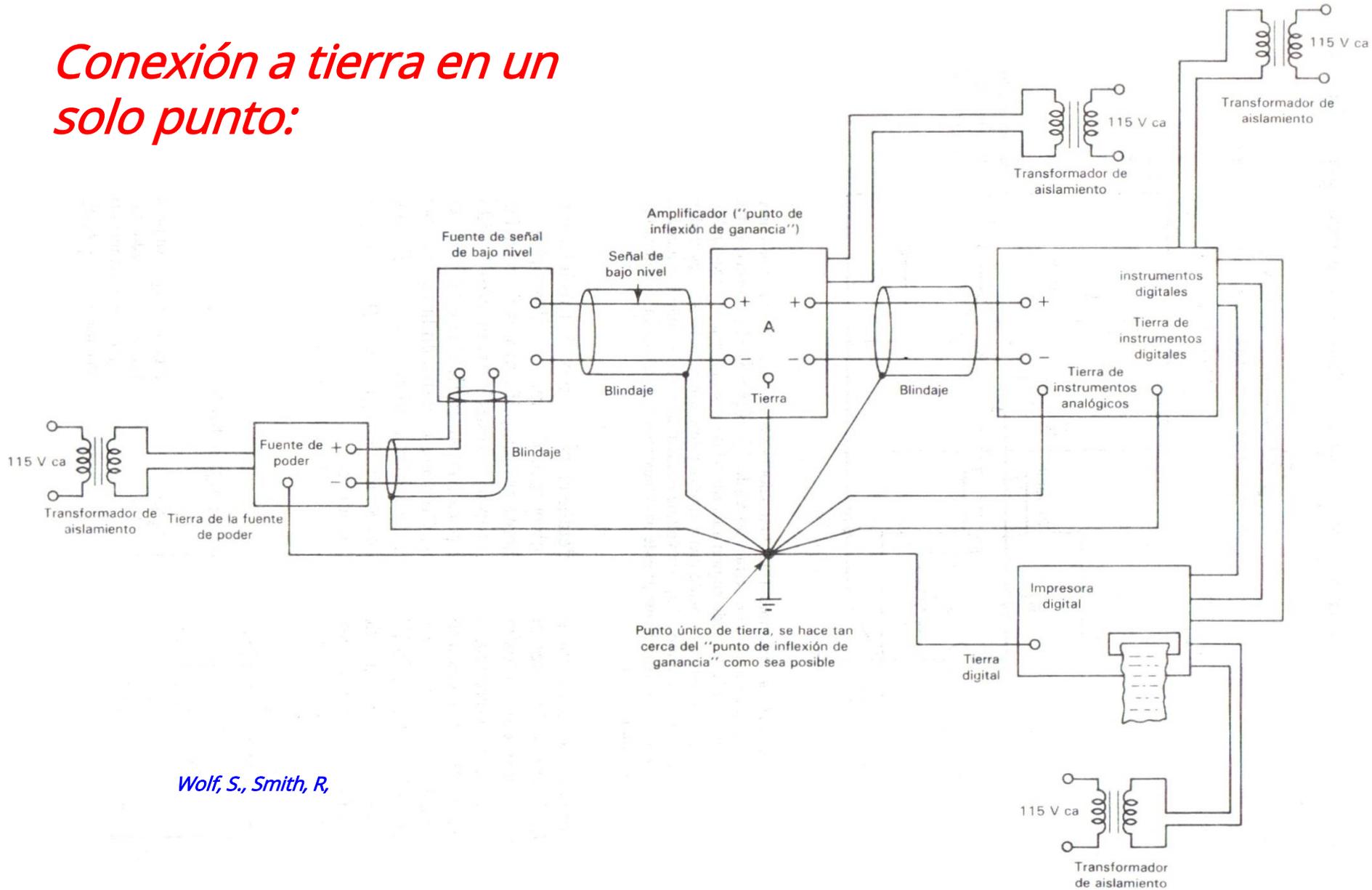


Si $R_C = R_V$ y todas las R despreciables frente a R_i :

$$U_{mn} = 2 U_t \frac{R_s}{R_i}$$

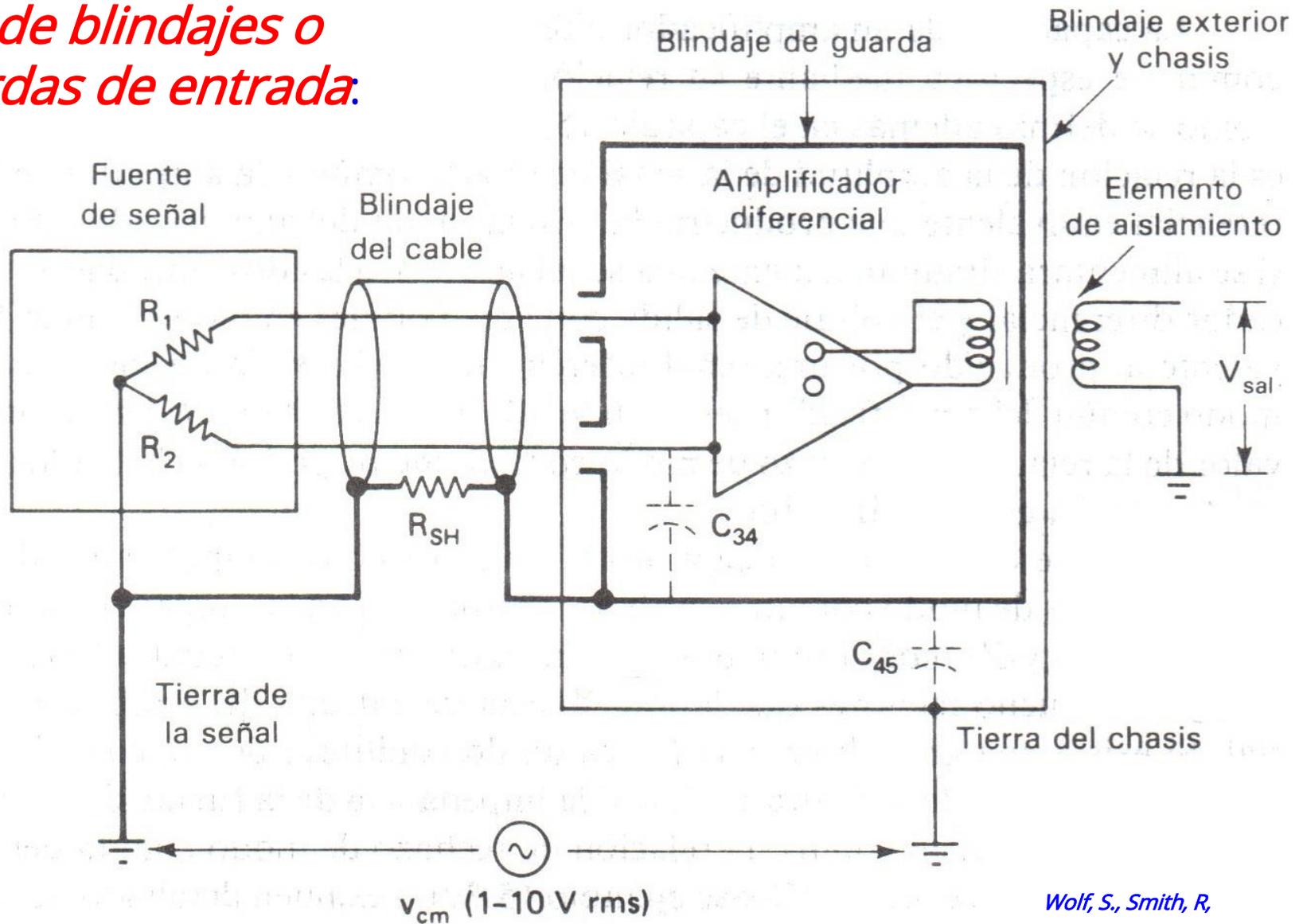


Conexión a tierra en un solo punto:



Wolf, S., Smith, R,

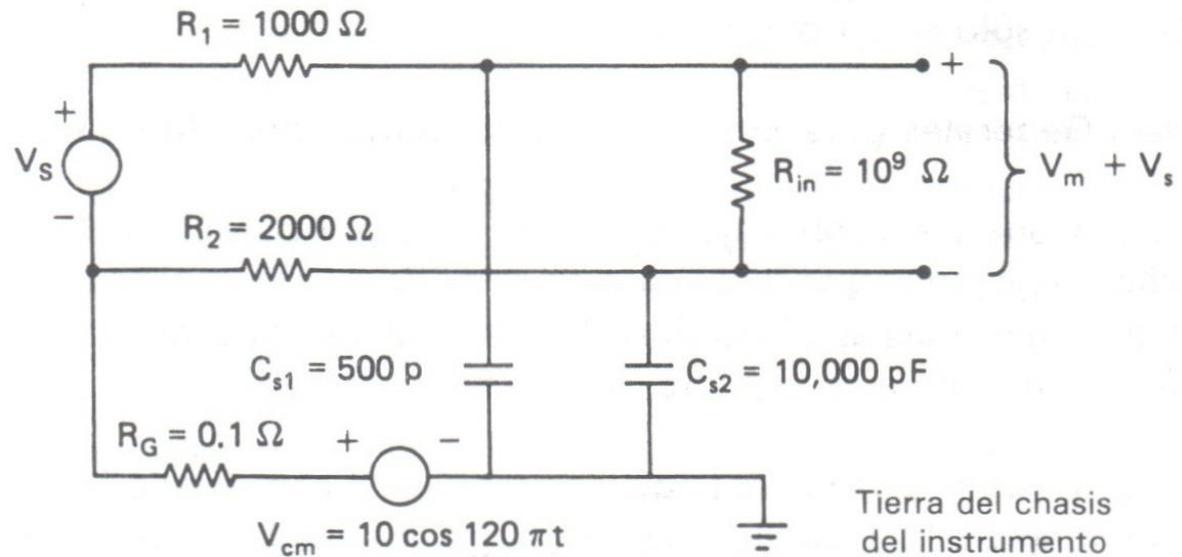
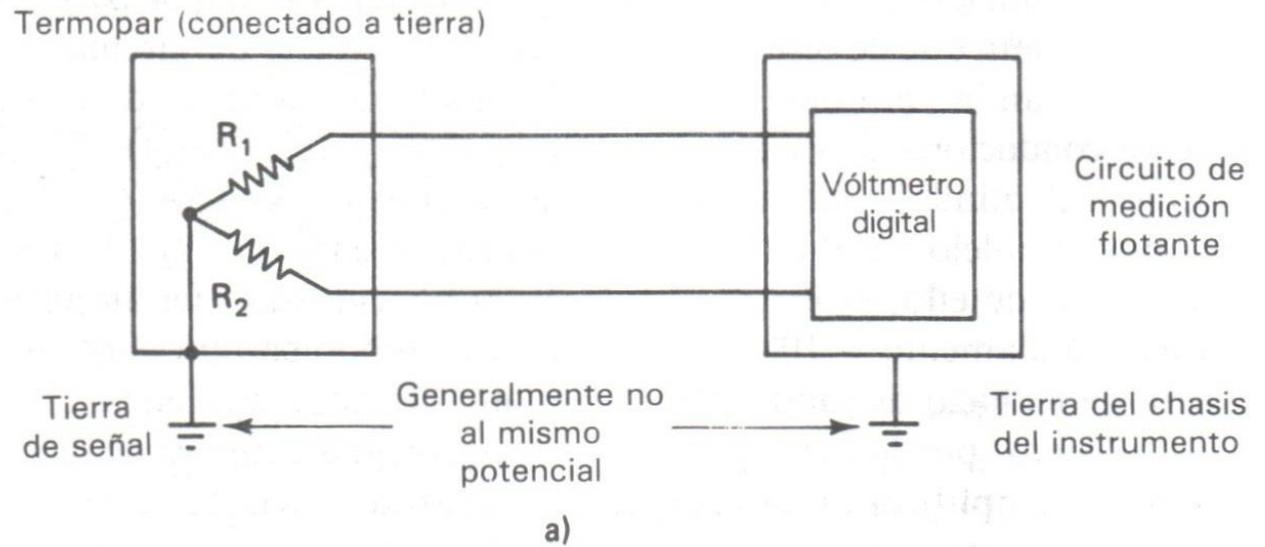
Uso de blindajes o guardas de entrada:



Wolf, S., Smith, R.

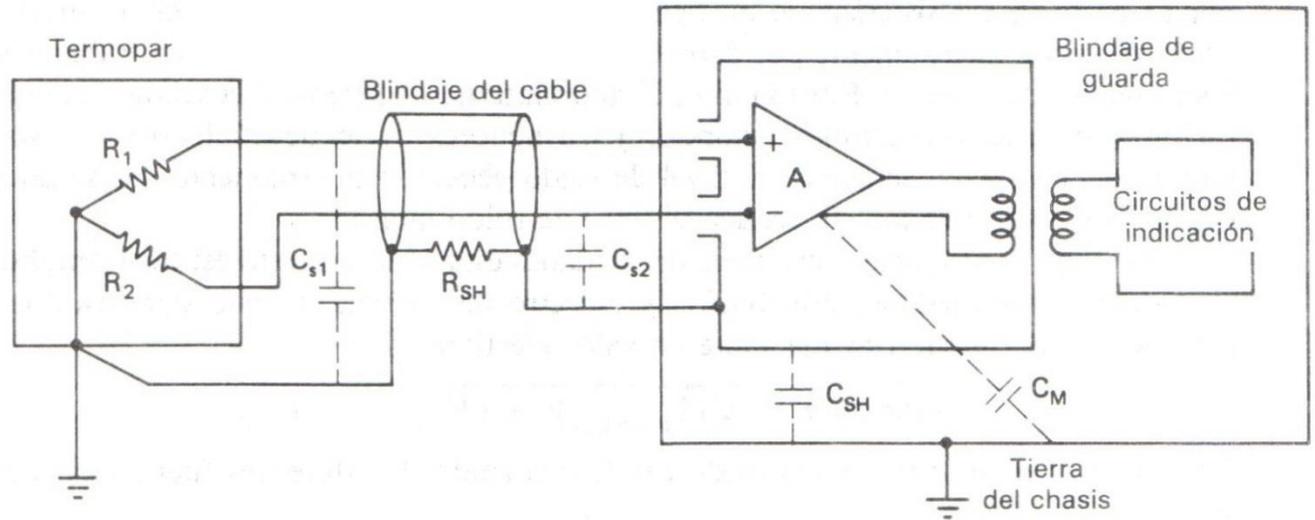


Ejemplo de un Termopar conectado a un medidor con entrada diferencial flotante:

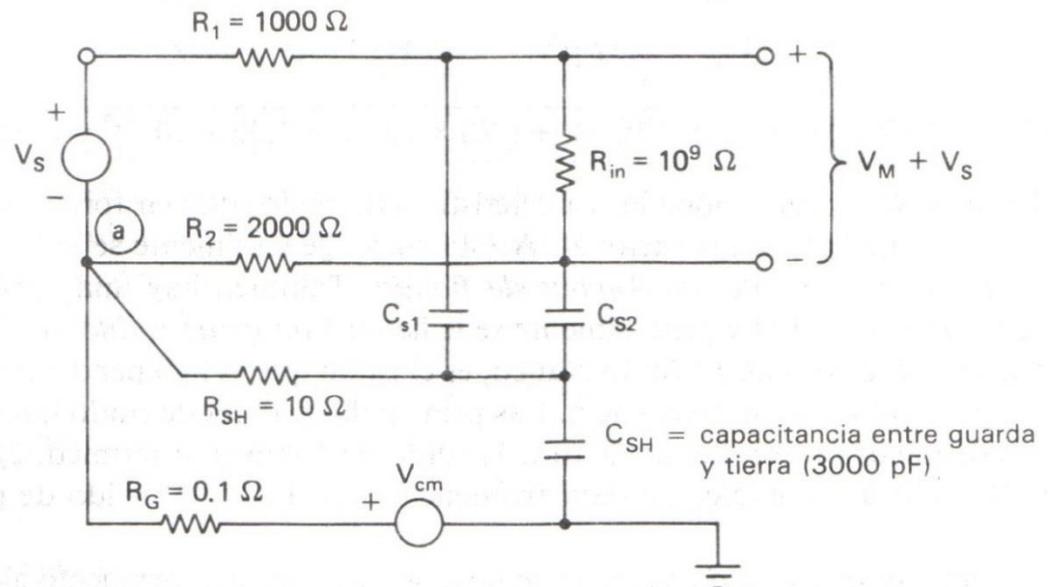


b)

Ejemplo de un Termopar conectado a un medidor con guarda de entrada:



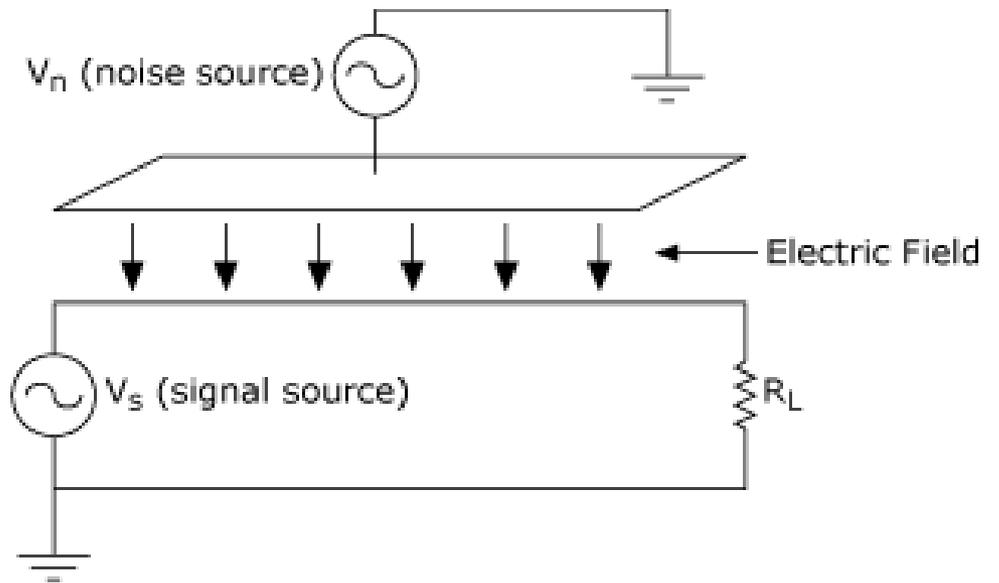
a)



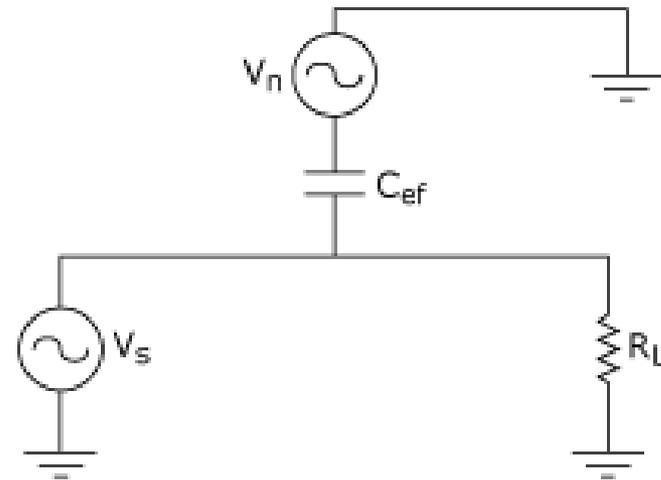
b)



Acoplamiento Capacitivo

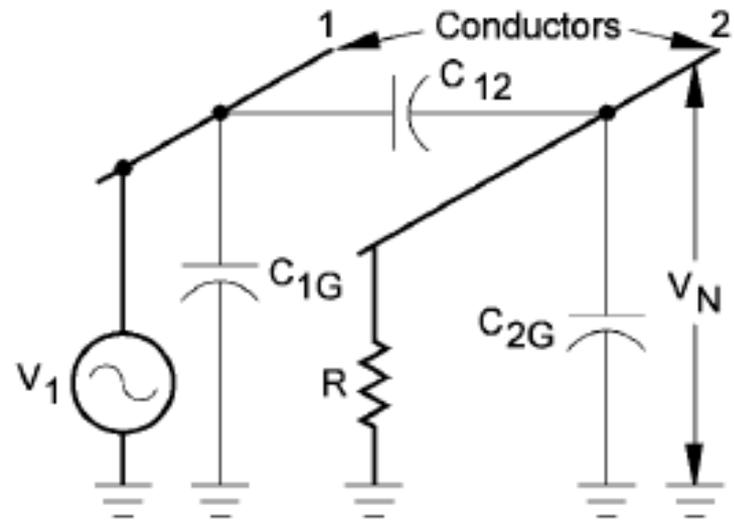


a. Physical Representation

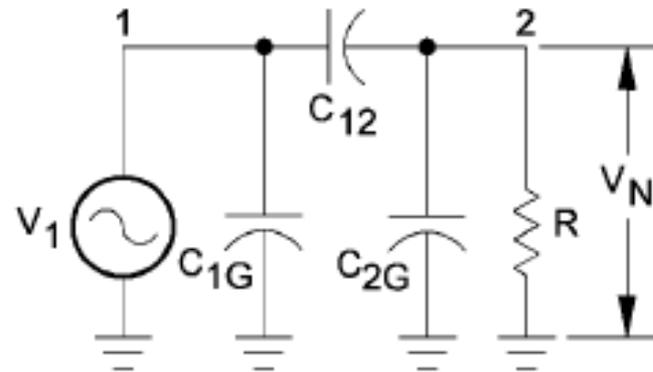


b. Equivalent Circuit

Acoplamiento Capacitivo entre 2 conductores

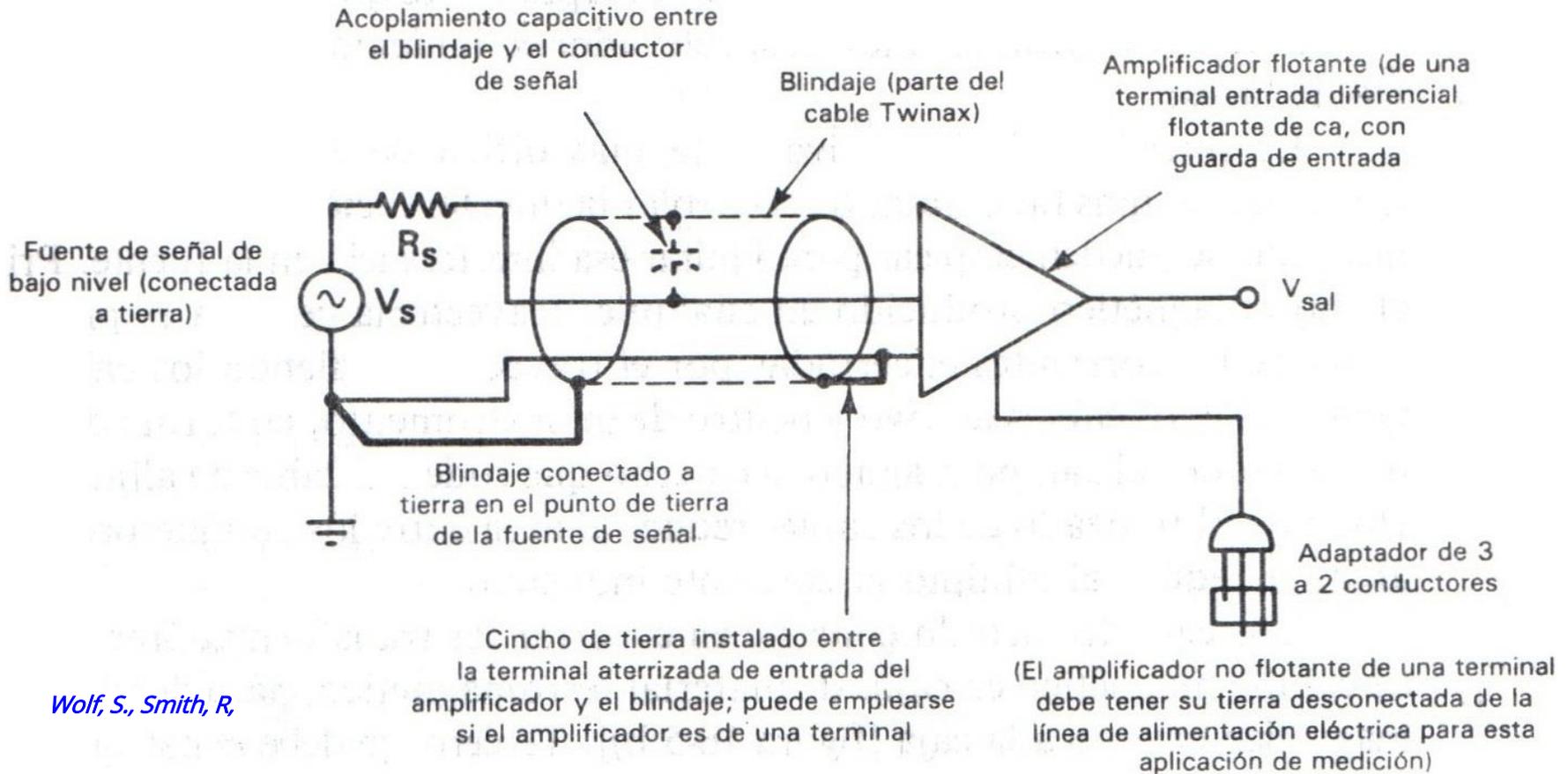
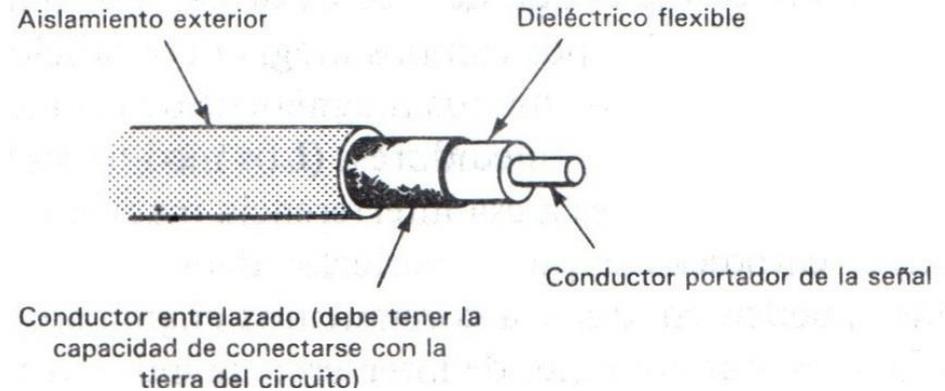


Physical Representation



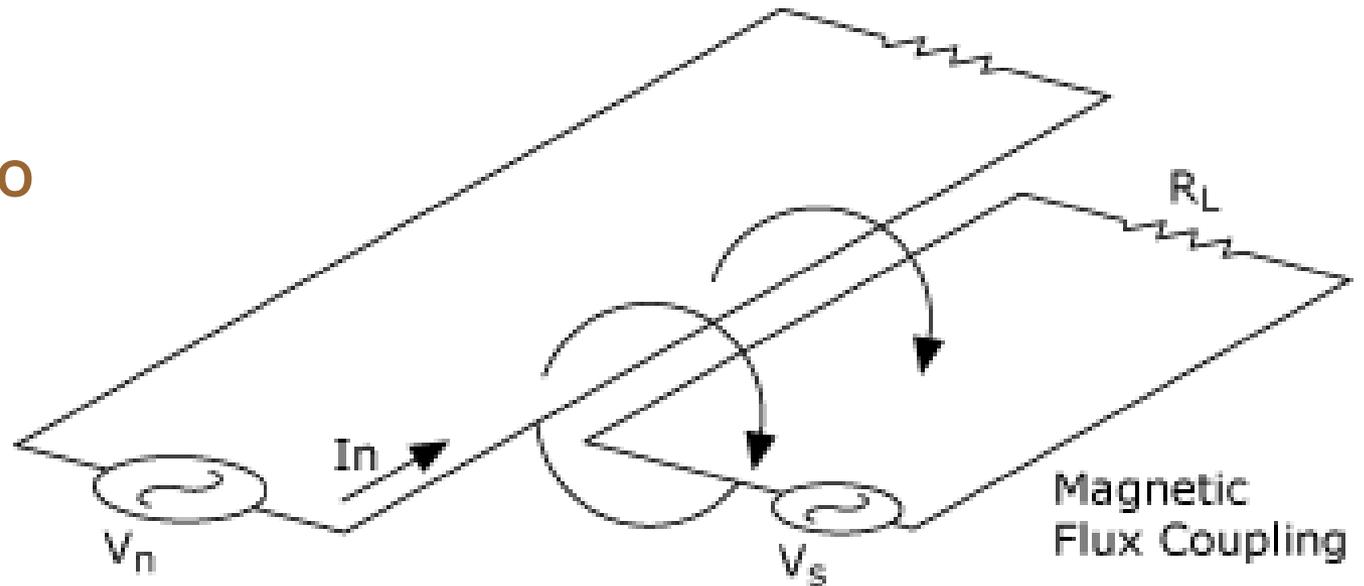
Equivalent Circuit

Blindaje Electrostático

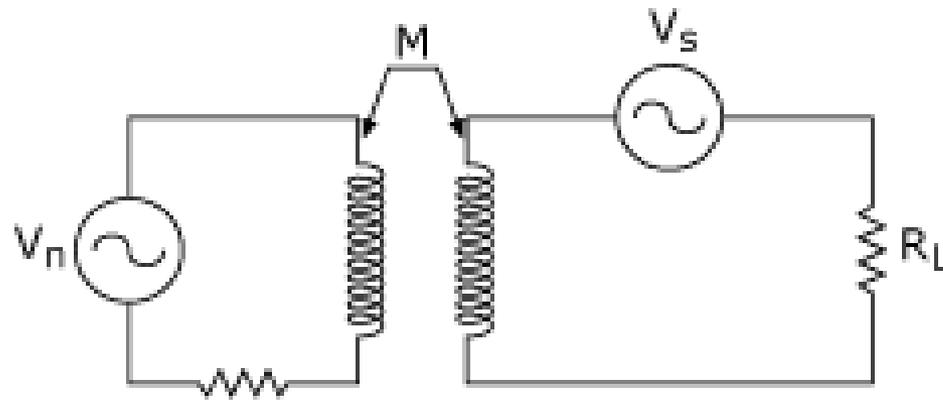


Wolf, S., Smith, R,

Acoplamiento Inductivo

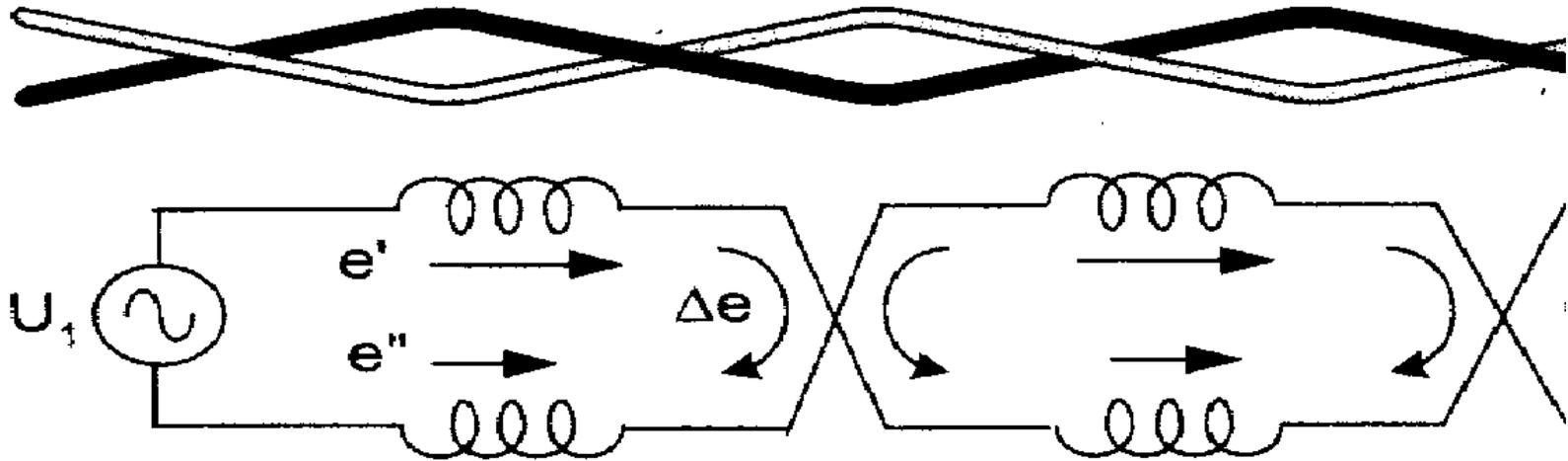


a. Physical Representation



b. Equivalent Circuit

Par trenzado (twisted pair): Campos magnéticos externos inducen tensiones que en cada paso del trenzado dan diferencias Δe que tienden a cancelarse. Además, la inmediatea vecindad de un conductor a otro reduce la inductancia equivalente del conjunto. Esta técnica, además de en sistemas de transmisión de datos es de aplicación masiva en el caso de mediciones con multímetros de alta impedancia de entrada.



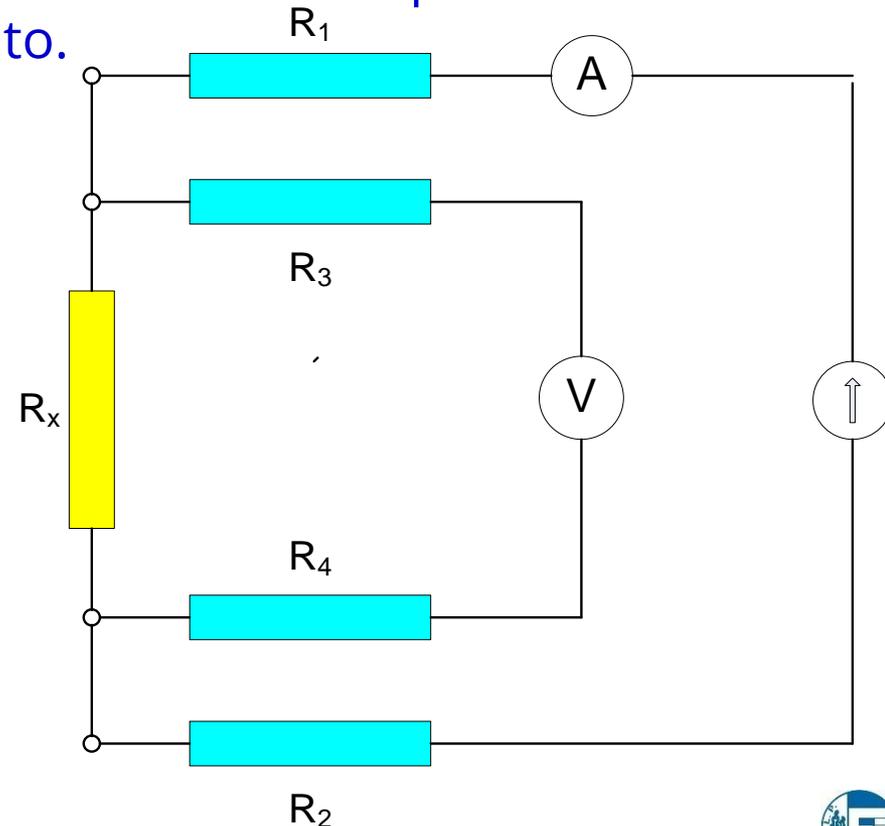
Ejemplo de conexión especial de un resistor de cuatro terminales a un multímetro:

En su momento vimos que la caracterización de un resistor de muy bajo valor (... $<1\Omega$...) o de un resistor de más alto valor pero de alta exactitud, requiere del uso de cuatro terminales. En el caso de los multímetros de alta exactitud, 5 ½ o más dígitos, y también en algunos de 4 ½, es imprescindible poder disponer de esos terminales si se pretende utilizar todas las bondades que ofrece el aparato.

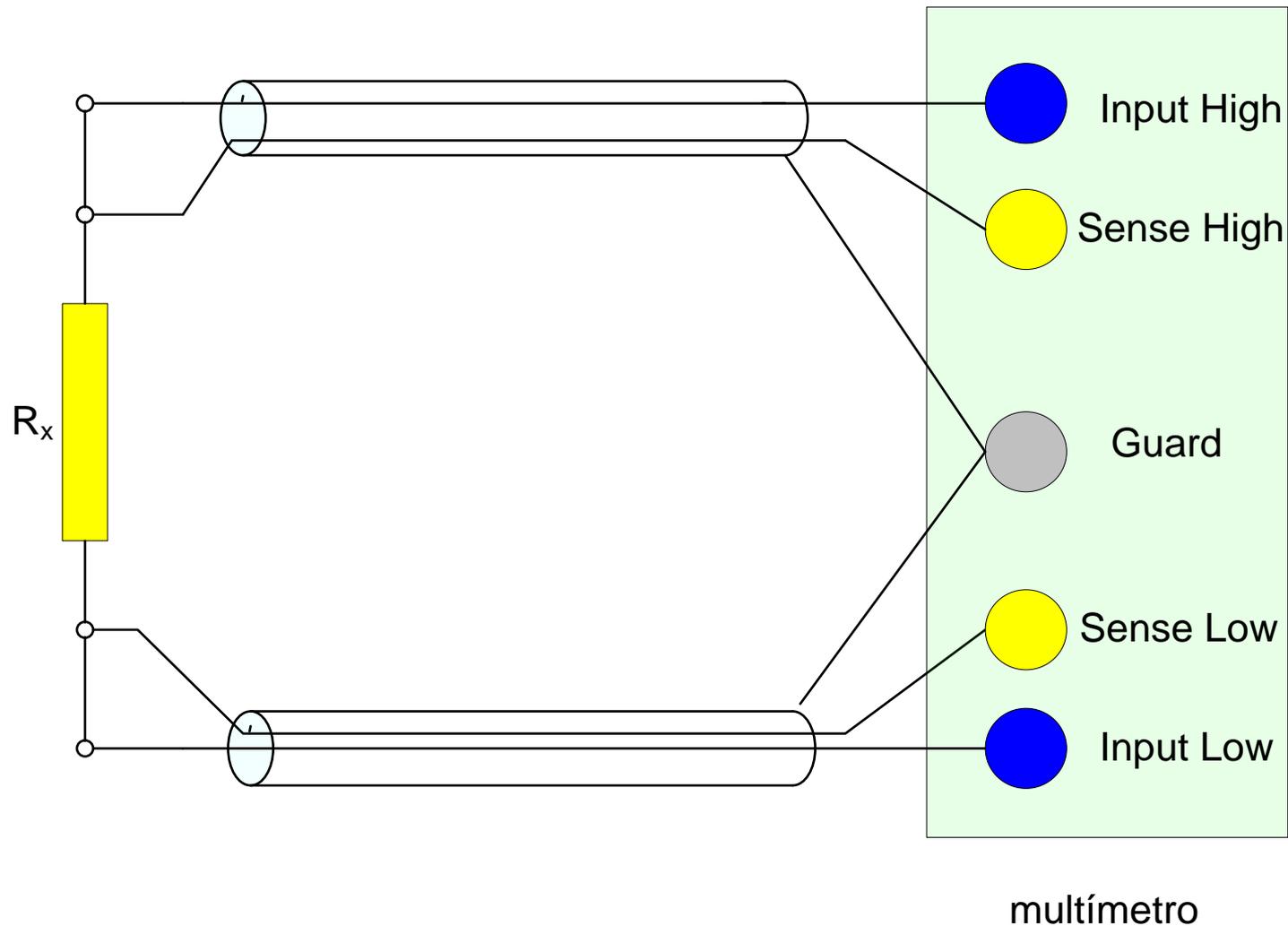
El siguiente es el esquema de una disposición de cuatro terminales:

R_1 y R_2 : R de los bornes de corriente (R de contacto más cables).

R_3 y R_4 : ídem de los bornes de tensión



La disposición anterior muchas veces se logra mediante un dispositivo que se provee con el voltímetro, y que adopta la siguiente disposición de conexión:



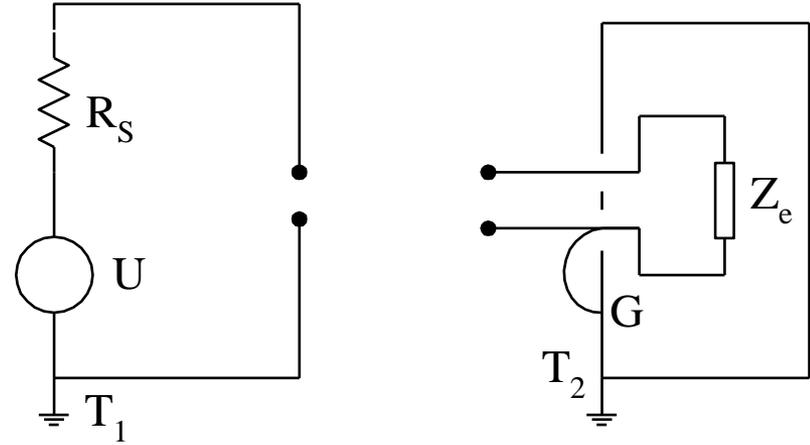


Ejemplo de un conjunto de 4 terminales (“Agilent 16089B - Kelvin clip leads - Alligator type”)

Se desea medir el valor máximo y la frecuencia de la tensión de salida (U) de una fuente como la de la figura. Se sabe que la misma es sinusoidal, de frecuencia 100 kHz y valor máximo 10 V. La resistencia de salida (R_s) es de aproximadamente 2 k Ω . Se dispone de:

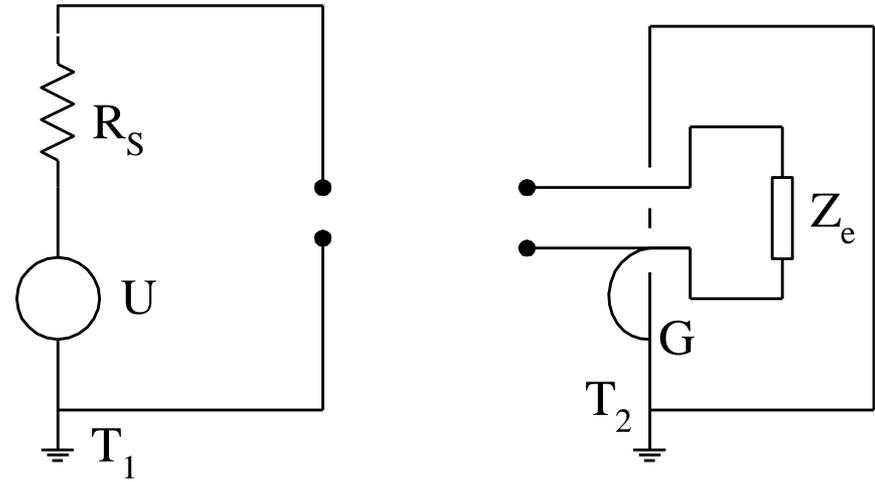
- Un osciloscopio digital de 8 bits, 1 GS/s, Z_e : 1 M Ω // 30 pF, longitud de registro 2048 muestras. 10 x 8 divisiones. Atenuador vertical 2 mV/div a 5 V/div y Base de tiempo 5 ns/div a 5 s/div, ambos en pasos con secuencia 1-2-5. Exactitud: $\pm 3\%$ vertical y $\pm 0,5\%$ horizontal (con cursores que permiten hacer despreciable el error de apreciación en pantalla). Según se muestra en la figura, se ha conectado uno de sus bornes de entrada a su terminal de guarda.

- Puntas pasivas de tensión x1, x10, x100, con cable coaxial con resistencia del conductor central 0,5 Ω , de la malla 1,5 Ω y capacidad entre el conductor central y la malla de 100 pF.



(T_1 no puede ser desconectada del circuito y G no puede ser desconectado de T_2)

T_1 y T_2 son dos tierras diferentes, entre las que se sabe puede aparecer una tensión de no más de 2 V (valor máximo), con fundamental de 50 Hz y armónicas hasta de orden 5. La resistencia equivalente entre ellas es de aproximadamente 2Ω .



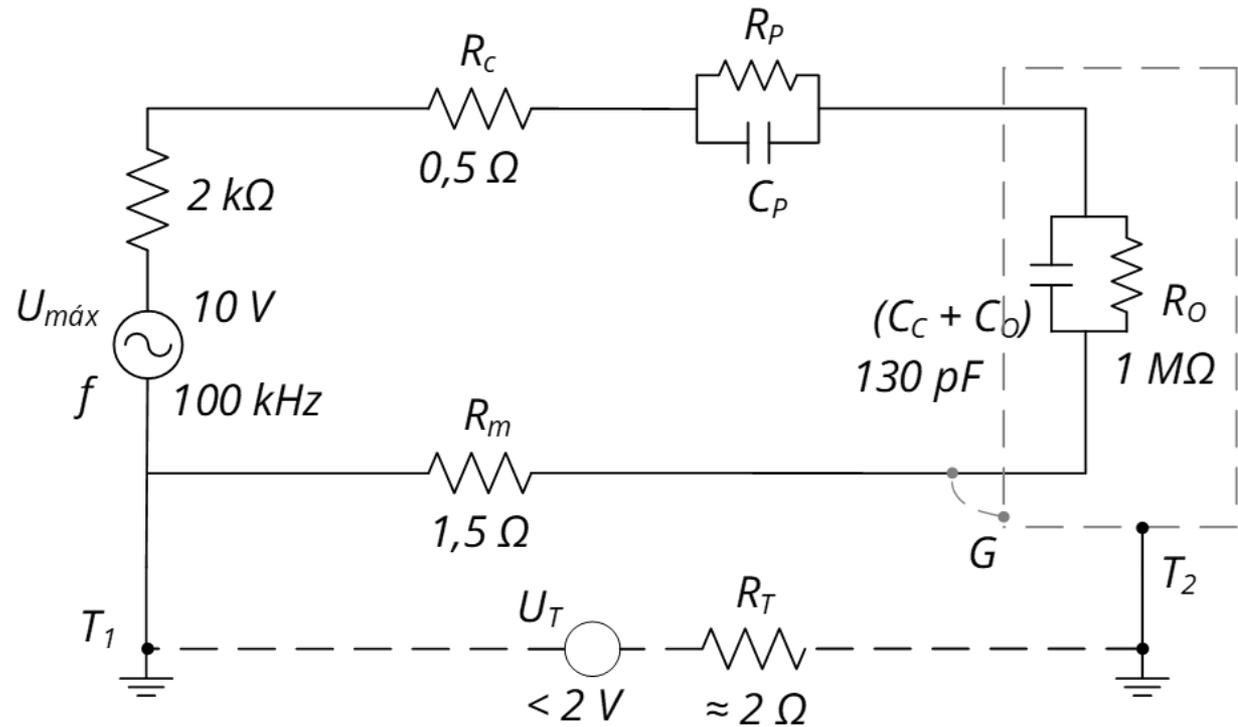
(T_1 no puede ser desconectada del circuito y G no puede ser desconectado de T_2)

a) Justificando su elección, indique claramente cómo armaría el circuito para efectuar las mediciones solicitadas, y qué punta atenuadora elegiría para concretarlo. Haga un dibujo del circuito equivalente.

b) Detalle cómo dispondría los principales controles del osciloscopio para medir los parámetros señalados y todos los errores que aparecen para el circuito armado según a).

c) ¿Qué resolución tiene el osciloscopio en vertical (expresada en volts) y en horizontal (expresada en segundos) para la selección de controles efectuada?

Circuito equivalente:



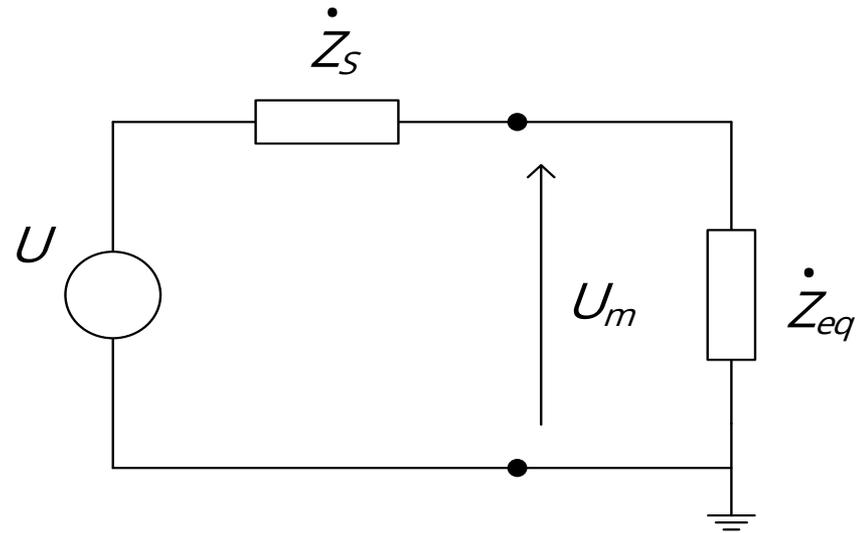
Para la malla de tierra se tiene:

$$U_{R_m} = \frac{U_T}{(R_m + R_T)} * R_m < \frac{2 V}{(2 + 1,5) \Omega} * 1,5 \Omega \approx 0,9 V$$

Inaceptable, ya que la tensión a medir es $U_{m\acute{a}x} = 10 V$, por lo que, si estuviera en fase con U_T , el error cometido sería $\approx 9 \%$.

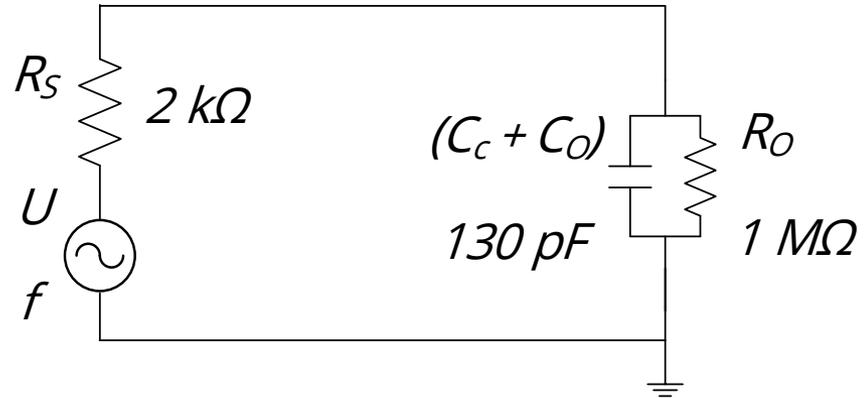
Por lo cual se desconectará G de la malla del coaxial.

Error de
Inserción:



$$e_{\text{inserción}}[\%] = \frac{|U_m| - |U|}{|U|} * 100 = \frac{\left| \frac{U * \dot{Z}_{eq}}{\dot{Z}_S + \dot{Z}_{eq}} \right| - |U|}{|U|} * 100$$
$$= \left(\left| \frac{\dot{Z}_{eq}}{\dot{Z}_S + \dot{Z}_{eq}} \right| - 1 \right) * 100$$

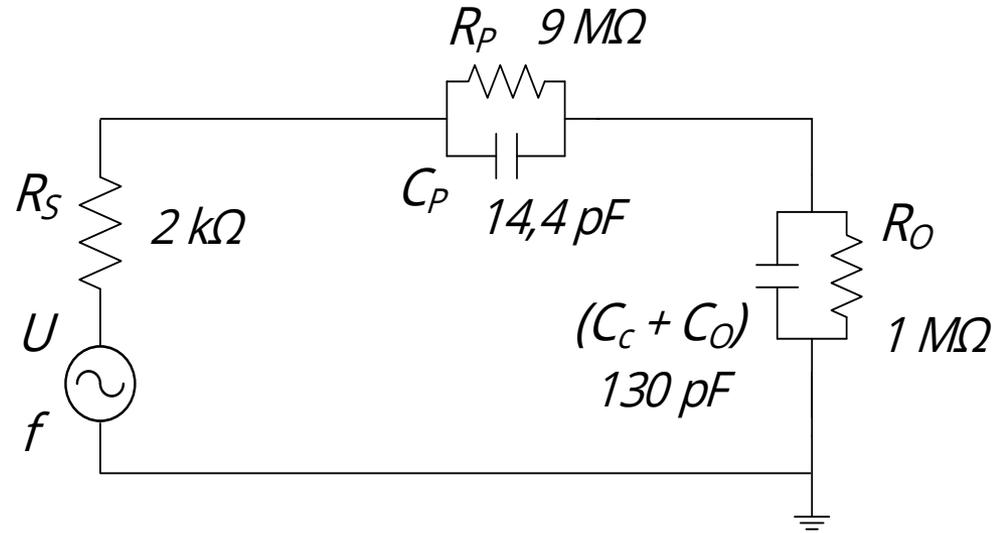
Para Punta 1X:



$$X_{(C_C+C_O)a\ 100\text{ kHz}} \approx 12\text{ k}\Omega \ll R_O \Rightarrow Z_{eq} \approx -j X_{(C_C+C_O)} \quad \text{y} \quad Z_S \approx R_S$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow e_{\text{inserción}} [\%] &= \left(\frac{X_{(C_C+C_O)}}{\sqrt{R_S^2 + X_{(C_C+C_O)}^2}} - 1 \right) * 100 \\ &= \left(\frac{12\text{ k}\Omega}{\sqrt{2\text{ k}\Omega^2 + 12\text{ k}\Omega^2}} - 1 \right) * 100 = -1,4\% \end{aligned}$$

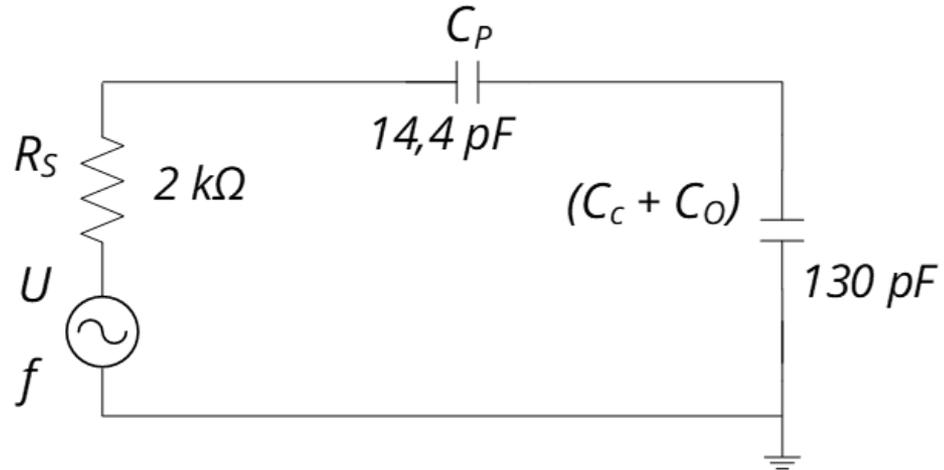
Para Punta 10X:



$$C_P = \frac{R_O * (C_C + C_O)}{R_P} = 14,4 \text{ pF}$$

$$\Rightarrow X_{C_P \text{ a } 100 \text{ kHz}} \approx 0,11 \text{ M}\Omega \ll R_P = 9 \text{ M}\Omega$$

Con lo cual, el
Circuito equivalente
para Punta 10X, será:



$$\Rightarrow C_{eq} \approx 13\text{ pF} \Rightarrow Z_{eq} \approx 0,12\text{ M}\Omega_{(a\ 100\text{ kHz})} \quad \text{y} \quad Z_S \approx R_S$$

$$\Rightarrow e_{\text{inserción}}[\%] = \left(\frac{0,12\text{ M}\Omega}{\sqrt{2\text{ k}\Omega^2 + 0,12\text{ M}\Omega^2}} - 1 \right) * 100 = -0,01\% \ll 3\%$$

\Rightarrow elijo Punta 10X

Suponiendo, por ejemplo, que quisiéramos ver 2 ciclos de la señal:

$$2 \cdot T = \frac{2}{100 \text{ kHz}} = 20 \mu\text{s}$$

$$\Rightarrow \text{Base de Tiempo} = \frac{20 \mu\text{s}}{10 \text{ div}} = 2 \mu\text{s} / \text{div}$$

$$U_{p-p} = 20 \text{ V}$$

$$\Rightarrow U_{p-p \text{ osc}} [\text{V}] = \frac{20 \text{ V}}{10} = 2 \text{ V} \quad (\text{para } \text{Punta } 10\text{X})$$

Entonces, para ver la señal en toda la pantalla:

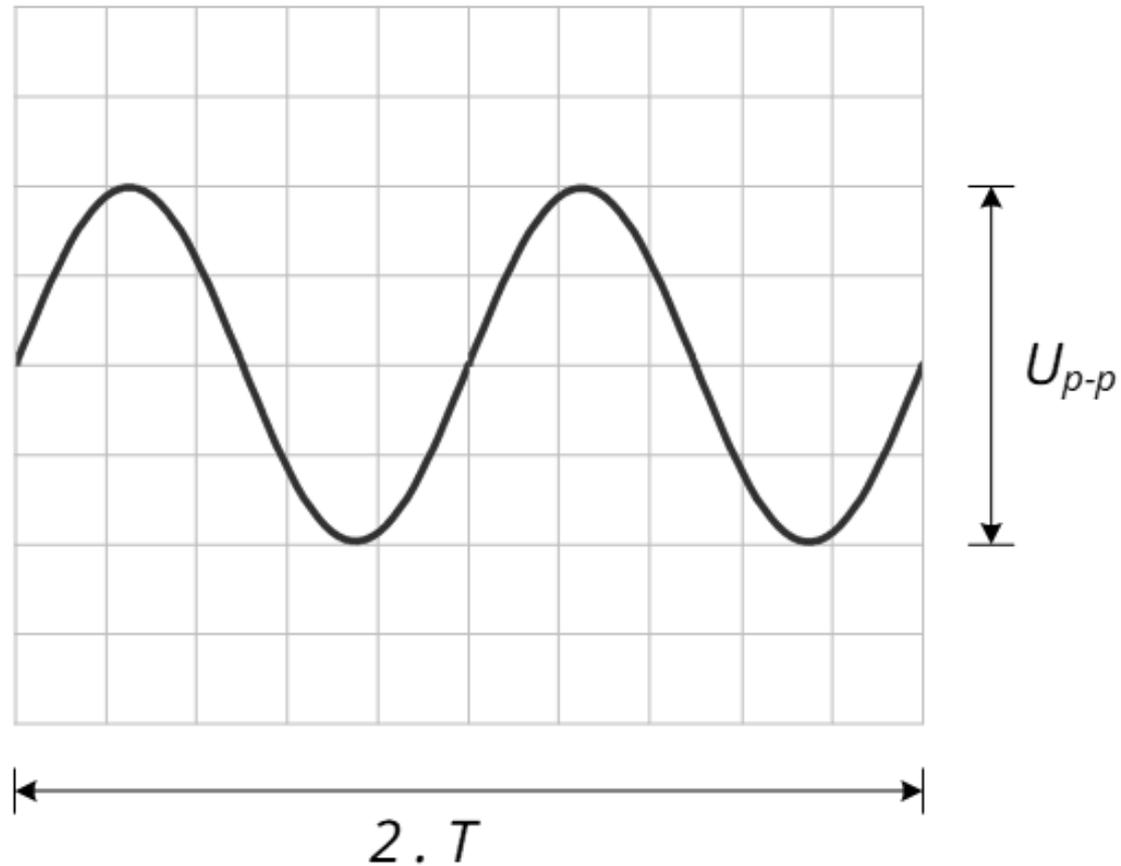
$$\text{Atenuador} \left[\frac{\text{V}}{\text{div}} \right] = \frac{2 \text{ V}}{8 \text{ div}} = 0,25 \frac{\text{V}}{\text{div}}$$

$$\Rightarrow \text{Atenuador: } 0,5 \frac{\text{V}}{\text{div}}$$



Ajustes del disparo:

Nivel ≈ 0 V, pendiente +, sin "pretrigger"



Resolución:

- En vertical (8 bits):

$$Res_{vert} = \pm \frac{8 \text{ div} * 0,5 \text{ V/div}}{256} = \pm 15,6 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow e_{res_{UP-P}} = \pm \frac{15,6 \text{ mV}}{2 \text{ V}} * 100 = \pm 0,8 \%$$

- En horizontal (2048 muestras):

$$Res_{Hor} = \pm \frac{10 \text{ div} * 2 \mu\text{s/div}}{2048} = \pm 9,8 \text{ ns } (> 1 \text{ ns, máxima velocidad de muestreo})$$

$$\Rightarrow e_{res_T} = \pm \frac{9,8 \text{ ns}}{20 \mu\text{s}} * 100 = \pm 0,05 \%$$

Breve introducción a los Sistemas de Instrumentación Virtual

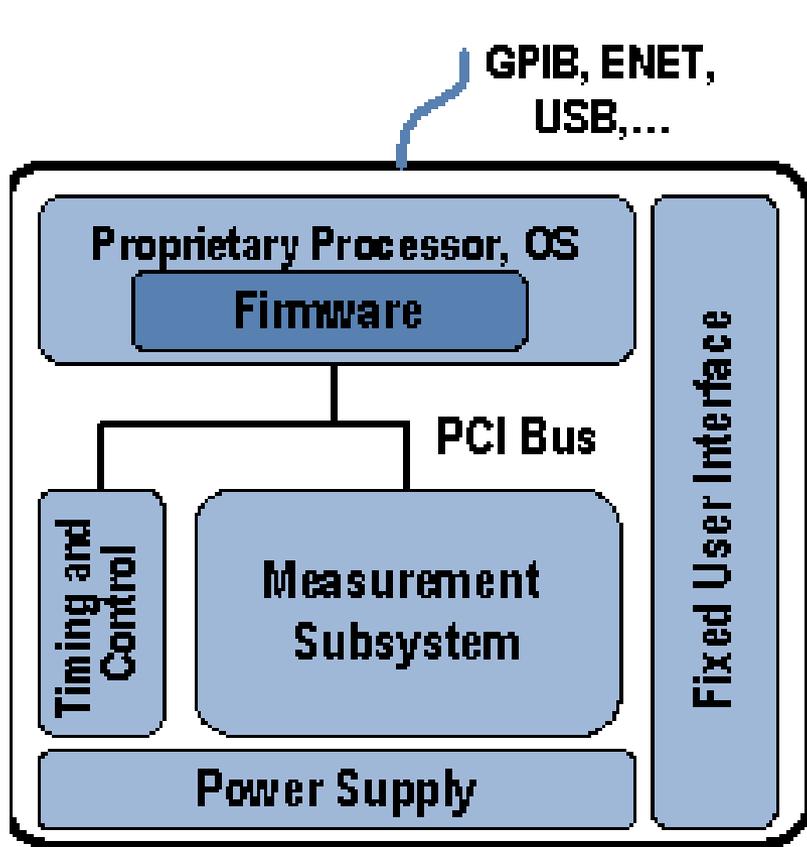
En todo lo que precede hemos estudiado diferentes sistemas de medición, algunos de cierta complejidad, como es el caso de los osciloscopios. En su versión digital, estos y otros aparatos poseen la posibilidad de comunicarse entre sí o con computadoras, con lo que pasan a disfrutar de todas las posibilidades de cálculo inherentes a estas máquinas.

Un capítulo aparte merecen los sistemas de medición formados a partir de computadoras, en las que se proveen los transductores de entrada, placas adquisidoras que se insertan en la computadora (o externas a ella) y el software adecuado para la realización de las mediciones.

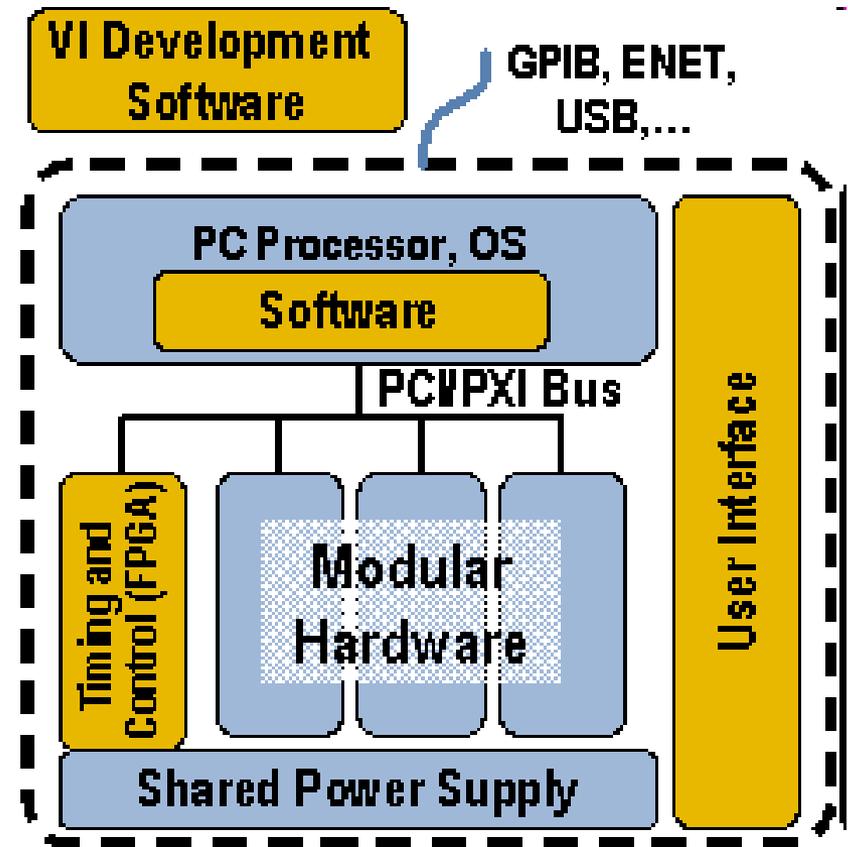
Este tipo de elementos constituye lo que se denomina un *sistema de instrumentación virtual*, que se diferencia nítidamente de uno convencional en el sentido de que está hecho a medida de los requerimientos del usuario, y es flexible en cuanto a cambios de funcionalidad.



Comparación de la estructura de un instrumento tradicional y de uno virtual basado en software y hardware modular



Instrumento tradicional

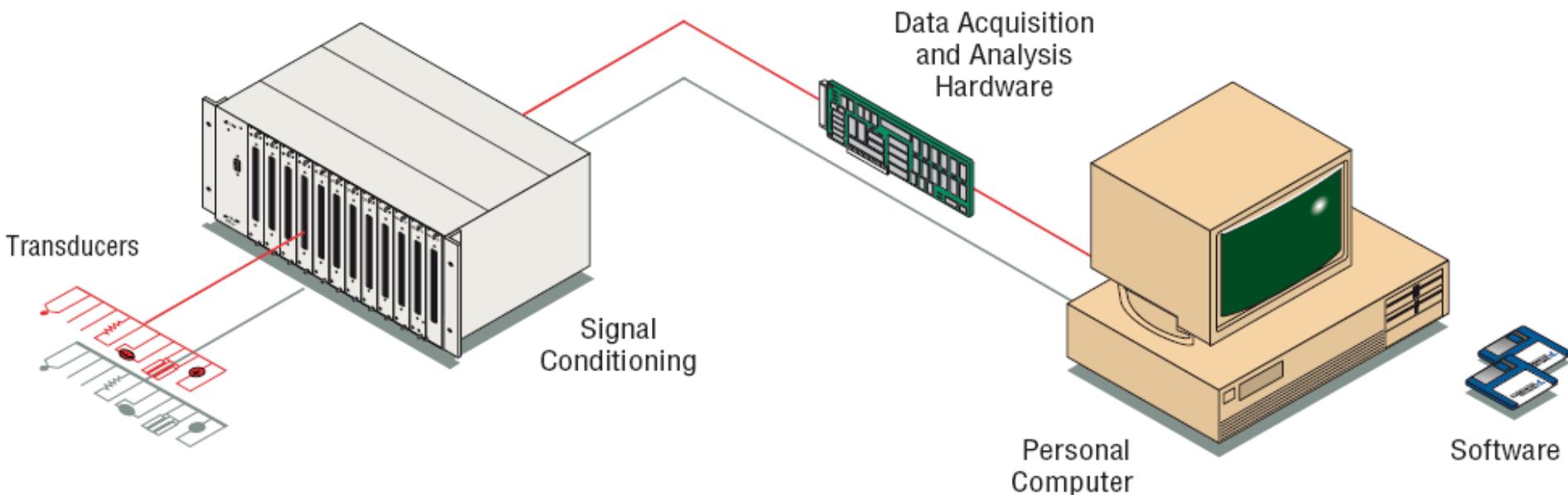


Instrumento virtual

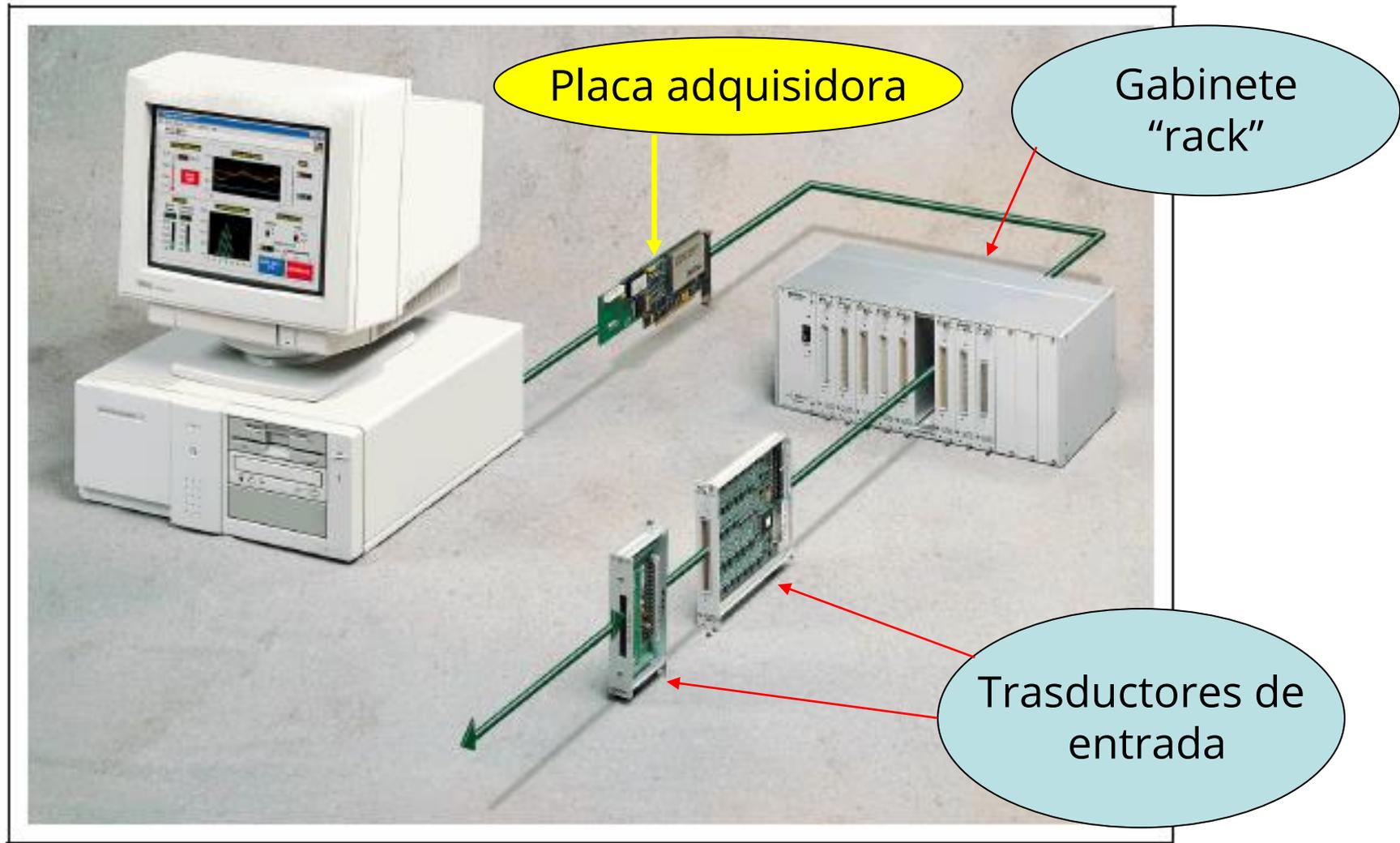
- National Instruments: LabVIEW

- Keysight: VEE, Visual Engineering Environment

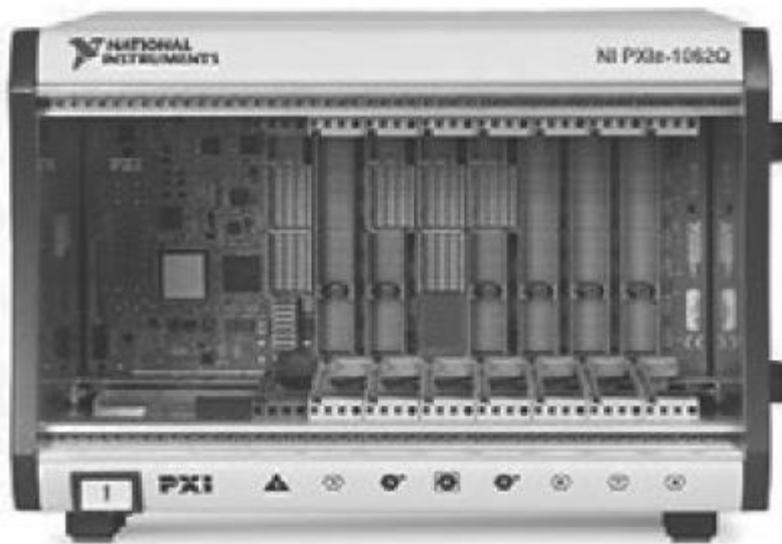


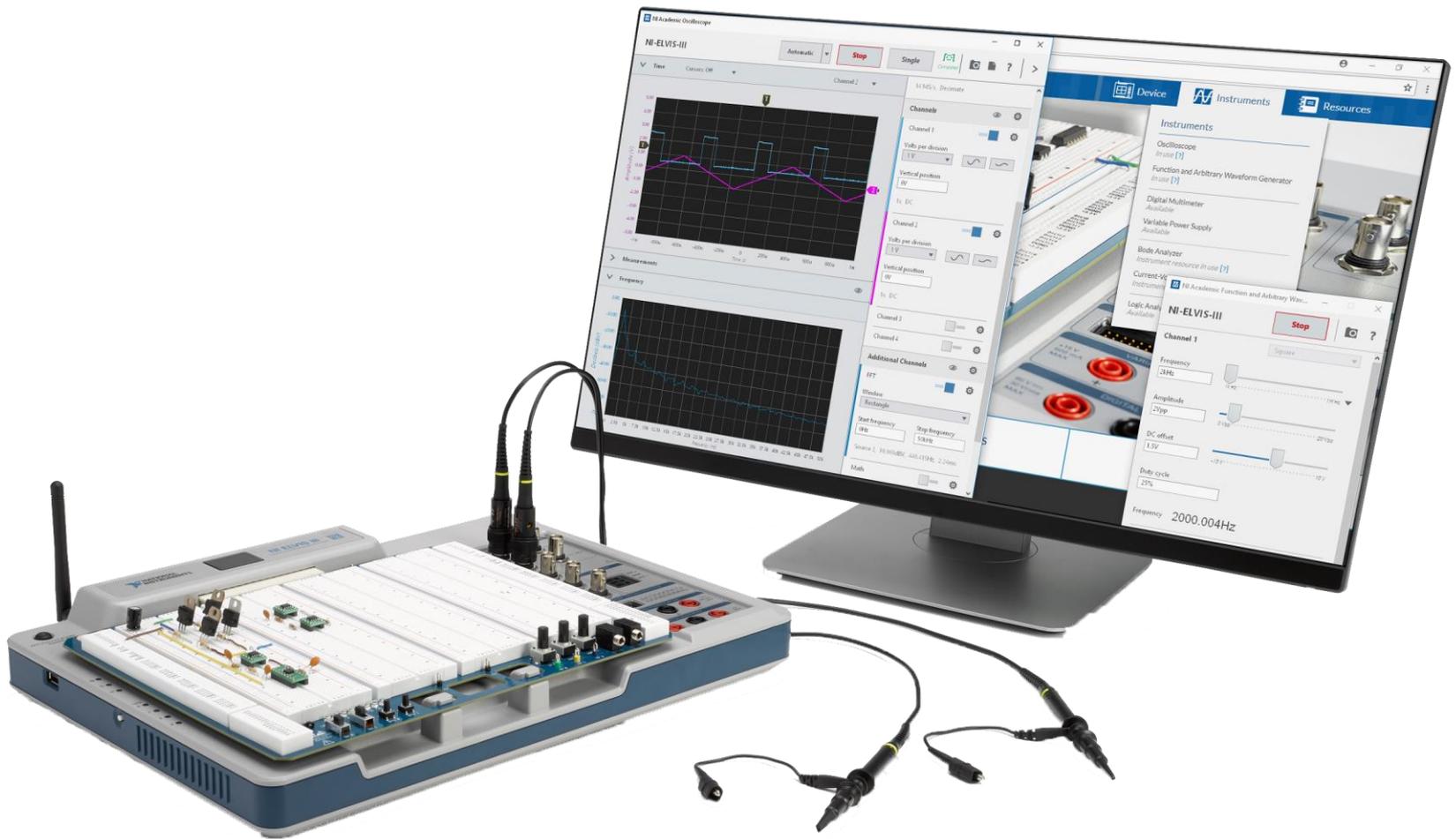


Esquema general de un sistema de instrumentación basado en una computadora personal. Notar que ciertos dispositivos como fuentes de alimentación, procesadores, memorias, etc., que deben ser dedicados en un instrumento común, son aquí los de la computadora empleada.



Componentes básicos del hardware





Las especificaciones de la placa adquisidora en sí, no varían en forma importante respecto de las comunes de los adquisidores de datos.

Como ejemplo, veamos las especificaciones básicas de la placa adquisidora de la figura:

S Series Multifunction DAQ 16-Bit, 250 kS/s/Channel, 8 Analog Inputs

NI 6143

- 8 differential 16-bit analog inputs
- 250 kS/s per channel analog input
- Simultaneous sampling
- 8 digital I/O lines (5 V TTL/CMOS);
 - two 24-bit counter/timers
- Digital triggering
- ± 5 V analog input signal range
- Measurement services that simplify configuration and measurements

Operating Systems

- Windows 2000/NT/XP
- Mac OS X
- Linux

Recommended Software

- LabVIEW 7.x or higher
- LabWindows/CVI 7.x or higher
- Measurement Studio 7.x or higher
- SignalExpress 1.x or higher

Other Compatible Software

- VI Logger 2.x or higher
- Visual Studio .NET
- Visual Basic, C/C++, and C#

Measurement Services Software (included)¹

- NI-DAQmx driver
- Measurement & Automation Explorer configuration utility
- VI Logger Lite data-logging software

¹Mac OS X and Linux applications must use NI-DAQmx Base driver software.



Calibration Certificate Available

El software: es parte fundamental de la instrumentación virtual, ya que es el que permite el intercambio de instrucciones entre el operador y el sistema de medida.

Su concepción es decisiva si se quiere lograr un sistema de instrumentación virtual eficiente. De entre los programas usados hoy en día, el **“LabVIEW”** de National Instruments, es sin duda el más difundido, (www.ni.com/labview/whatis/)

El LabVIEW es una interfaz gráfica muy poderosa que permite formar, a voluntad, gráficamente, no sólo los instrumentos que se deseen realizar, a medida del usuario, sino también cargar rutinas de cálculo avanzadas.

Su estudio excede lo que pretendemos en estos momentos, por lo que sólo presentaremos algunos ejemplos de soluciones logradas con este sistema, tomadas de hojas de características de National Instruments y de algunos usuarios del sistema.

What type of device should I use?



	Sound Card*	NI USB DAQ	NI PCI DAQ	Instruments*
AI Bandwidth	8–44 KS/s	10–200 KS/s	250 K–1.2 Ms/s	20kS/s–2 GS/s
Accuracy	12–16 bit	12–16 bit	14–18 bit	12–24 bit
Portable	x	x	—	some
AI Channels	2	8–16	16–80	2
AO Channels	2	1–2	2–4	0
AC or DC	AC	AC/DC	AC/DC	AC/DC
Triggering	—	x	x	x
Calibrated	—	x	x	x

ni.com



* The above table may not be representative of all device variations that exist in each category

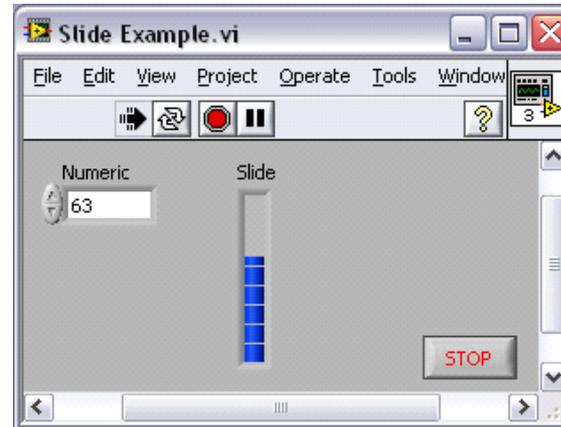


LabVIEW Programs Are Called Virtual Instruments (VIs)

Each VI has 2 Windows

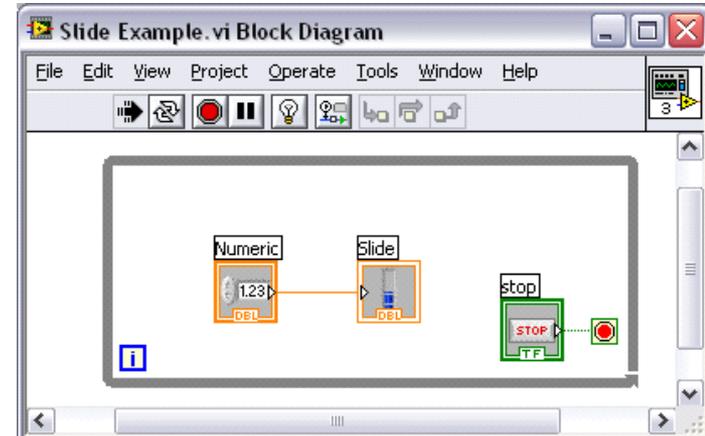
Front Panel

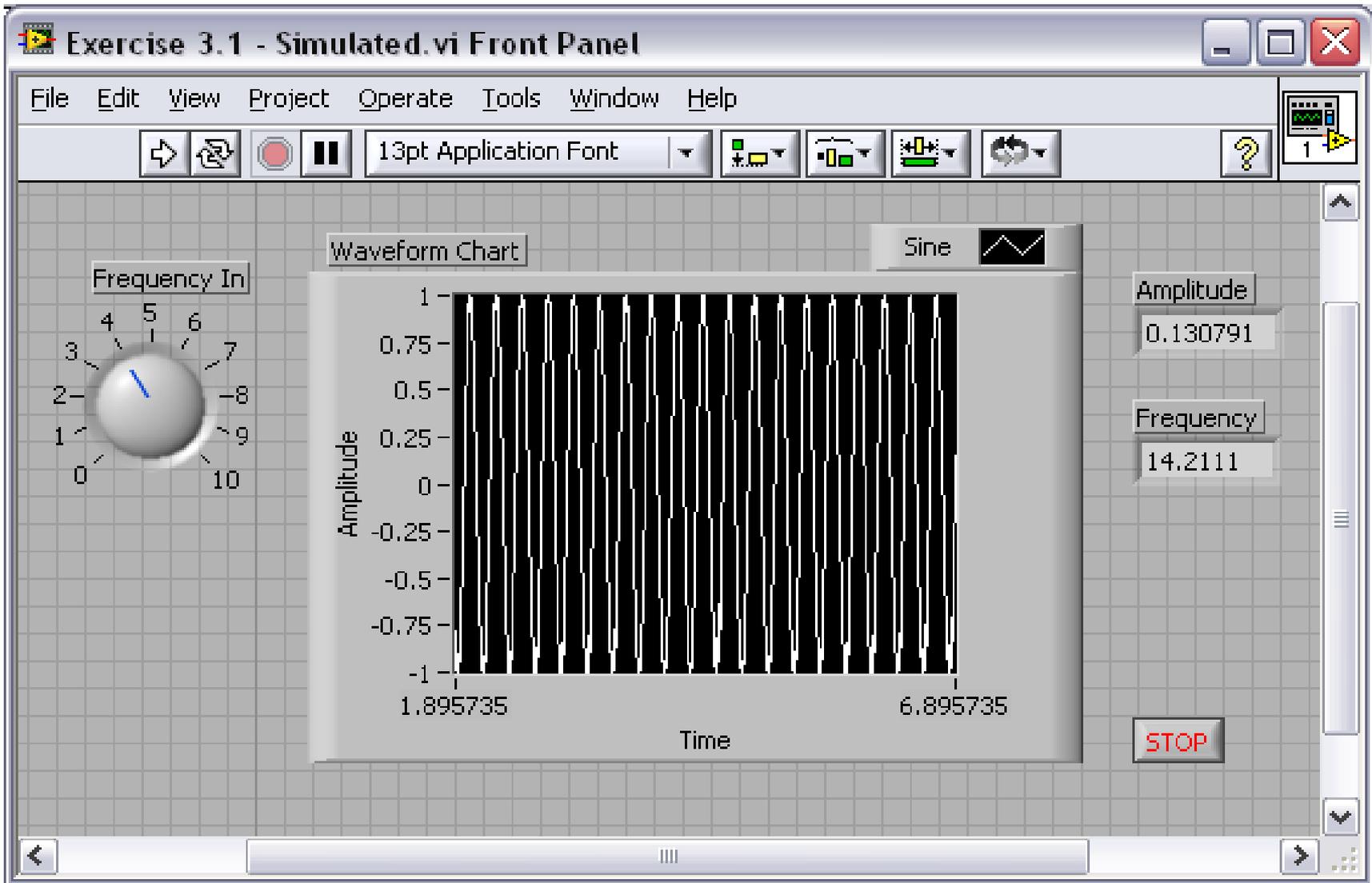
- User Interface (UI)
 - Controls = Inputs
 - Indicators = Outputs



Block Diagram

- Graphical Code
 - Data travels on wires from controls through functions to indicators
 - Blocks execute by Dataflow





Aspecto que presenta la pantalla con un instrumento virtual en la misma.

Instrumentos para conexión a la computadora vía USB.

En los últimos años han pasado a ser cada vez más comunes los osciloscopios digitales que se conectan con la PC vía el puerto USB, Estos dispositivos, que se aprecian en las figuras, son en realidad adquirentes de datos que poseen en sí la parte analógica de adaptación de señales, y el conversor A/D, reposando en todo lo demás en la capacidad de procesamiento de la computadora.

